766

THÈSE

présentée

A L'UNIVERSITE DE PARIS XI
CENTRE D'ORSAY

pour obtenir

Le grade de Docteur Es Sciences Naturelles

par

Ruparao T. GAHUKAR

Contribution à l'étude de la nutrition de la pyrale, *Ostrinia nubilalis* Hübner (Lepidoptera : *Pyraustidae*) et de la résistance du maïs (*Zea mays* L.) à cet insecte

Soutenue le 15 Décembre 1976 devant la Commission d'examen

MM. BERGERARD : Président
ALLEGRET, RAMADE : Examinateurs
ANGLADE : Rapporteur
BILIOTTI, MOREAU : Invités

THÈSE

présentée

A L'UNIVERSITE DE PARIS XI
CENTRE D'ORSAY

pour obtenir

Le grade de Docteur Es Sciences Naturelles

par

Ruparao T. GAHUKAR

Contribution à l'étude de la nutrition de la pyrale, *Ostrinia nubilalis* Hübner (Lepidoptera : *Pyraustidae*) et de la résistance du maïs (*Zea mays* L.) à cet insecte

Soutenue le 15 Décembre 1976 devant la Commission d'examen

MM. BERGERARD : Président
ALLEGRET, RAMADE } Examinateurs
ANGLADE } Rapporteur
BILIOTTI, MOREAU } Invités

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

AVANT - PROPOS

Les travaux de recherches exposés dans ce mémoire ont été effectués à la Station centrale de Zoologie, Centre national de Recherches agronomiques (I.N.R.A.), Versailles, dirigée par Monsieur BILIOTTI qui a bien voulu également faire partie de mon jury, puis par Monsieur LECOMTE. Au cours de mes recherches, ils m'ont accordé avec bienveillance le concours de leurs aides, qu'ils trouvent ici, l'expression de ma vive et sincère gratitude.

Je regrette infiniment que Monsieur le Professeur LE BERRE ne soit plus parmi nous. Sa disparition brutale m'afflige au plus haut point. Il m'avait guidé constamment tout au long de cette étude en orientant mon travail, en le discutant et en me faisant profiter de sa connaissance approfondie des problèmes de nutrition des insectes phytophages. Je lui en resterai toujours très reconnaissant.

Je tiens à exprimer mes profonds et respectueux sentiments à Monsieur le Professeur BERGERARD qui a bien voulu me faire l'honneur d'accepter la présidence du jury de cette thèse.

J'assure Monsieur le Professeur ALLEGRET de ma respectueuse gratitude pour sa participation à ce jury.

Monsieur ANGLADE a accepté de porter un jugement et de préparer le rapport de mon travail. Je lui garde mon sincère dévouement.

Je remercie Monsieur le Professeur RAMADE d'avoir bien voulu se joindre au jury pour juger mon travail.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548119_0006

Ma sympathie va à Monsieur MOREAU pour sa très bienveillante hospitalité dans son laboratoire, pour ses conseils précieux et ses encouragements, et enfin pour m'avoir permis de mener mon stage à un bon accomplissement.

J'exprime mes plus vifs sentiments de reconnaissance: à Monsieur PERDRIZET, Station de Physiopathologie végétale, Dijon, pour son accueil dans son laboratoire ce qui m'a permis de faire les analyses biochimiques du maïs,

à Monsieur ARNOUX, Station de Biométrie, Versailles, qui m'a prodigué ses conseils et critiques dans les interprétations statistiques.,

à Madame GUENNELON, Station de Zoologie, Montfavet, qui m'a fourni la souche de la pyrale en m'initiant aux techniques d'élevage,

à Monsieur WEISMANN, Station de Phytopathologie Expérimentale et Entomologie, Ivanka Pri Dunaji (Tchécoslovaquie) qui m'a suggéré d'essayer un milieu nutritif artificiel à base de haricot.

Enfin, je me permets d'exprimer mes remerciements les plus sincères au personnel scientifique et administratif de la Station pour l'aide cordiale et efficace que j'ai trouvée auprès d'eux. Je ne saurais les citer tous, mais qu'il me soit permis d'exprimer mes sincères amitiés à Mesdemoiselles HAWLITZKY et BOULAY, à Mesdames DERRIDJ, HOGREL, HAMON et GILBERT, et à Monsieur DURAND, pour leur assistance directe ou leurs conseils, ainsi qu'à Madame LOUVEAUX qui m'a facilité l'accès à la documentation.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION. 1-13

A. Importance économique de la pyrale 1

B. Exposé des travaux effectués (Etude bibliographique) 2

a) Problèmes de résistance variétale du maïs 2

b) Elevage de la pyrale au laboratoire 7

c) Recherche expérimentale au laboratoire des causes de résistance 10

C. Problèmes abordés dans la présente étude 12

CHAPITRE I. CONDITIONS EXPERIMENTALES GENERALES 14-19

A. Matériels utilisés 14

1. Etude au laboratoire 14

a) Préparation et sélection du matériel entomologique 14

b) Milieux artificiels 15

b_1) Elevage de masse 15

b_2) Elevage individuel 16

c) Matériel végétal 16

2. Etude au champ 17

a) Matériel entomologique 17

b) Matériel végétal 17

B. Techniques adoptées 17

1. Etude au laboratoire 17

a) Entretien de la souche 17

b) Elevage individuel au cours des expériences 18

c) Observations biologiques et histologiques 18

2. Etude au champ 19

C. Conditions d'élevage 19

D. Critères retenus 19

CHAPITRE II. ALIMENTATION ARTIFICIELLE DE LA PYRALE DU MAIS 20-35

A. Caractères biologiques en fonction de la composition des milieux nutritifs artificiels 20

a) Nouvelles techniques adoptées au niveau du milieu artificiel pour l'élevage de masse 20

b) Critères biologiques étudiés sur cinq milieux artificiels en élevage individuel 22

c) Effet nutritionnel d'un supplément "Pangamine" ajouté au milieu haricot 23

1. Milieux utilisés 23

2. Elevage de l'insecte 25

Résultats

a) Elevage individuel 26

b) Elevage de masse 26

Discussion

d) Relations entre divers paramètres larvaires et nymphaux en fonction du sexe et du milieu d'alimentation 29

B. Incidence de l'alimentation artificielle prolongée sur les caractères physiologiques

a) Mode opératoire 31

b) Résultats et discussion 31

C. Importance de l'origine des souches de la pyrale dans la virulence vis-à-vis du maïs 33

D. Conclusions 34

CHAPITRE III. UTILISATION DE L'ALIMENTATION ARTIFICIELLE DANS L'ETUDE DE LA RESISTANCE DU MAIS A LA PYRALE 36-58

A. Influence sur la biologie de la pyrale d'une combination entre milieux artificiels et tissus du maïs à différents stades phénologiques 36

1. Matériel végétal 37

a) Préparation des échantillons 37

b) Extraction et purification du Dimboa 38

c) Dosage du Dimboa 39

2. Milieux artificiels 40

3. Elevage de l'insecte 41

Résultats

1. Dosage du Dimboa 41

2. Critères biologiques 42

Discussion 45

B. Influence de divers milieux sur le comportement alimentaire des chenilles 50

Mode opératoire 53

Résultats 54

Discussion 55

C. Conclusions 57

CHAPITRE IV. PRISE DE NOURRITURE DES CHENILLES DE LA PYRALE 59-81

A. Influence du Dimboa sur la consommation et l'utilisation de la nourriture par les chenilles du dernier stade. 61

Mode opératoire 62

Résultats 64

Discussion 66

B. Analyse des effets du Dimboa sur la prise de nourriture après une mise au jeûne 69

Mode opératoire 70
Résultats 70
Discussion 72

C. Action de l'ingestion du Dimboa sur le mésentéron des chenilles 74

1. Elevage de l'insecte 76
2. Techniques histologiques 76

Résultats 77
Discussion 78

D. Conclusions 80

CONCLUSIONS GENERALES 82-85

RESUME 86-89

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 90-104

ANNEXES - Articles déjà publiés

INTRODUCTION

La spécificité de la pyrale du maïs Ostrinia nubilalis Hübner (Lépidoptère : Pyraustidae) pour son hôte principal, Zea mays L. illustre un aspect particulier de sa biologie Celle-ci a été étudiée dans les différentes conditions climatiques de telle sorte que les techniques culturales et mécaniques ont d'abord été largement adoptées comme moyens de lutte. Mais pendant 50 années, l'augmentation de sa répartition a obligé d'étendre les recherches vers les insecticides, la résistance variétale et la lutte biologique. Ceci a suscité des études approfondies sur la biologie, l'écologie et la physiologie de l'insecte afin d'envisager les moyens de lutte les plus efficaces. Les aspects les plus importants ont été développés par BRINDLEY et DICKE (1963), GUENNELON (1972), BRINDLEY et coll. (1975) et récemment par GAHUKAR et CHIANG (1976).

A) IMPORTANCE ECONOMIQUE DE LA PYRALE

L'importance économique de la pyrale du maïs est bien connue dans le monde entier et surtout dans les régions où le maïs est cultivé à une grande échelle. La distribution géographique de ce ravageur s'étend de plus en plus car d'une part, il y a une augmentation de la superficie cultivée en maïs en raison de l'intérêt de ses rendements et de ses nombreuses applications alimentaires, d'autre part, la pyrale s'adapte facilement aux conditions climatiques locales. Sa présence est habituellement notée en Amérique du nord, au Canada, dans la plupart des pays européens, dans le Sud-ouest de l'Asie, au Moyen-Orient et au Nord-ouest de l'Afrique. En France, les foyers sont situés dans les régions suivantes : Sud-ouest, Sud-est, Alsace, Franche-Comté. Récemment, nous avons constaté la "solidité" de son installation dans le Sud du Bassin Parisien et dans le Centre-ouest (Vallée de la Loire, Charente-Poitou).

Les dégâts provoqués par les chenilles de pyrale sont très importants non seulement sur le maïs mais aussi sur d'autres cultures, notamment le chanvre, le piment et le houblon

alors que 200 plantes sont décrites comme hôtes de la pyrale. En tant qu'hôte principal, la relation entre le maïs et cet insecte a fait l'objet de nombreux travaux.

L'alimentation de la pyrale sur les organes du maïs (tige, feuille, cornet, gaine, pédoncule, épi, soie, spathes etc..) provoque une perte considérable en qualité et en quantité. Par exemple, elle entraîne un changement dans la composition en alcools solubles, glucosides, acides aminés, acide phosphorique, potassium, amidon, tandis que le pouvoir germinatif des grains est lui-même atteint. On constate de petits épis, une réduction en poids des grains, une diminution de la qualité dans la production de semences et des maïs consommés en épis. Les tissus endommagés par les chenilles entraînent ou favorisent la pénétration d'agents pathogènes comme des Fusarium par exemple.

B) EXPOSE DES TRAVAUX EFFECTUES (ETUDES BIBLIOGRAPHIQUES)

a) Problème de résistance variétale du maïs

Les insecticides (surtout le DDT, le carbaryl, l'azodrin, le parathion) sont utilisés contre ce ravageur depuis longtemps, mais leur application entraîne des effets secondaires. Afin d'augmenter la production en ne détruisant pas l'équilibre naturel, c'est la lutte intégrée qu'il est maintenant conseillé de pratiquer (GAHUKAR, 1976 d). Parmi les moyens disponibles dans ce domaine contre la pyrale, les techniques culturales (semis précoce ou tardif, enfouissement des tiges après la récolte etc...), insecticides microbiens (Bacillus thuringiensis), agents biologiques (Beauveria bassiana, Trichogramma spp.), piégeages sexuels etc... sont en usage. C'est surtout la résistance variétale du maïs qui s'est montrée la plus efficace dans la pratique; elle fait l'objet de recherches à l'échelle mondiale qui consistent d'abord à identifier et à tester chez les lignées et les hybrides des facteurs associés à cette résistance puis à déterminer la valeur pratique ce ceux-ci. Il est certain qu'en raison des dégâts importants qu'elle cause (casse de tige, par exemple), c'est surtout contre la première génération de la pyrale que les lignées ou variétés sont

sélectionnées; mais dans l'avenir il faudrait aussi obtenir des maïs résistants dans les zones ayant plus d'une génération par an.

Afin d'effectuer des recherches sur la résistance du maïs, la spécificité de cet hôte vis-à-vis de la pyrale a été étudiée plus à fond, car la nutrition de l'insecte joue un rôle important dans les rapports avec la plante et donc dans la sélection de l'hôte (HOUSER et HUBER, 1928, BOTTGER, 1937; BECK, 1951; PAINTER, 1958). Les besoins nutritionnels et leurs effets sur la physiologie de la pyrale ont été discutés par GAHUKAR (1976 b). On sait que des modifications dans la physiologie de la plante, les relations trophiques et le métabolisme de l'insecte ont une valeur pratique pour la lutte (PRATT, HOUSE et MANSINGH, 1972; MOREAU et GAHUKAR,1975; LEVINSON, 1976). BECK (1974) discute brièvement des aspects théoriques de la spécificité des relations insectes - plantes hôtes.

Le phénomène de la résistance des plantes aux insectes a été discuté en détail par PAINTER (1951); THORSTEINSON (1960) , BECK (1965) et KOGAN (1975). Egalement les différents aspects de la résistance du maïs et les rôles des différents facteurs dans la détermination de la sensibilité ou de la résistance du maïs à la pyrale ont été précisés dans une mise au point bibliographiques de GAHUKAR (1975 a).

L'insecte est dépendant de la plante non seulement pour sa nourriture, mais aussi du point de vue de la stimulation des facteurs physiques et du microenvironnement. L'interaction de tous ces facteurs joue un rôle dans la détermination de la résistance ou de la sensibilité de la plante (BECK, 1965). De plus, en cas d'attraction normale de l'hôte, des facteurs nutritionnels de la plante ont une influence sur la physiologie de l'insecte en intervenant sur le cycle de vie complet ou en modifiant le comportement alimentaire et l'oviposition.

L'interaction entre les constituants nutritionnels et l'environnement est très importante dans les relations plantes-insectes (BECK, 1972), car l'hydrolyse des éléments nutritionnels par l'insecte est en relation avec leur stéréochimie (VILKOVA et SHAPIRO, 1973). Les substances "secondaires" ont un rôle dans la résistance du maïs à la pyrale (PRITULA, 1973). Une recherche est nécessaire pour étudier la résistance en fonction de la nutrition, car nous pouvons non seulement fabriquer des milieux artificiels pour élever en masse des insectes mais aussi définir ceux-ci (MAXWELL, JENKINS et PAROTT, 1972).

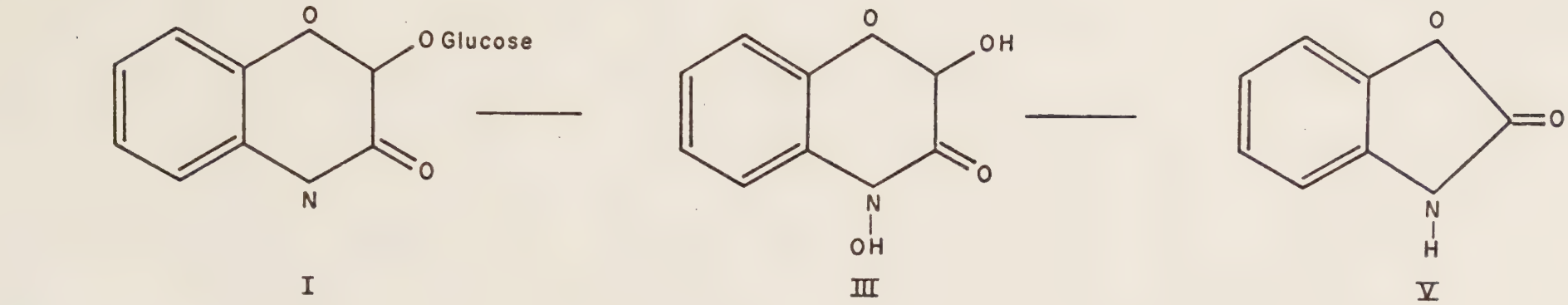
La résistance du maïs à la pyrale, est étudiée depuis plusieurs années à l'aide d'infestations artificielles dans la nature. La technique souvent appliquée utilise la fixation des pontes aux feuilles de maïs à différents stades de sa croissance. La survie et le développement des chenilles, le poids nymphal et le dégât sur le feuillage ou sur d'autres organes sont pris comme critères en fonction des lignées ou variétés. Ces techniques ont donné satisfaction dans l'évaluation de la sensibilité du maïs surtout contre la première génération. Récemment, SHEHATA, HARGRAVES et DAVIS (1975) ont pu étudier au laboratoire la sensibilité du maïs sucré à la deuxième génération à l'aide de l'infestation artificielle des épis par des chenilles du premier stade. REED, BRINDLEY et SHOWERS (1972) étudient au laboratoire la biologie de la pyrale afin d'évaluer les effets des différences lignées du maïs. L'étude au laboratoire est une aide pratique aux travaux dans la nature. Car le "screening" fait dans des conditions précises évite les variations dues aux facteurs du milieu. On peut étudier la partie désirée de la plante et en cas d'infestation artificielle, on a besoin de moins de pontes.

En outre, la sensibilité peut être étudiée sur les organes ou tissus eux-mêmes, prélevés de la plante (REED, BRINDLEY et SHOWERS, 1972) ou bien à l'aide des milieux artificiels (SULLIVAN, 1975). Par ce dernier moyen, on peut ajouter les tissus aux milieux après les avoir lyophilisés, aux doses et mélanges désirés. Ceci aide par conséquent à étudier le comportement alimentaire des chenilles et à approfondir les recherches sur le mécanisme de la résistance du maïs. Le risque de modification de l'état physiologique des tissus coupés ne doit pas être négligé.

Les tissus résistants du maïs agissent sur la croissance, le développement, la survie et la reproduction de la pyrale. A l'aide des isotopes radioactifs, KLUN et BRINDLEY (1966) ont observé que le 6 - méthoxy-2 (3) benzoxazolinone (6-MBOA) n'est pas un facteur actif de résistance, mais simplement un indicateur de la résistance du maïs au stade cornet vis-à-vis des chenilles de première génération. Par contre, le précurseur aglucone du 6 MBOA; 2,4-dihydroxy-7-methoxy-1, 4-benzoxazin-3 4 (H) - one(DIMBOA) ajouté au milieu exerce une action inhibitrice sur la croissance (KLUN, TIPTON et BRINDLEY, 1967). Le Dimboa se trouve dans les tissus du maïs (fig. 1) quand les tissus sont écrasés, le glucoside (4-O-glucosyl - 2,4 - dihydroxy-7-méthyl - 1, 4-benzoxazine-3 - one) s'hydrolyse par une action enzymatique et libère l'aglucone (WAHLROOS et VIRTANEN , 1959 a). Le Dimboa se décompose (BREDENBERG, HONKANEN et VIRTANEN, 1962). Ses propriétés biologiques et chimiques ont été récemment décrites par WOODWARD (1976).

La concentration du facteur de résistance varie en fonction du stade phénologique du maïs et selon les organes de la plante (BECK 1957, a,b; LOOMIS, BECK et STAUFFER, 1957; BECK, KASKE et SMISSMAN, 1957; ZAMFIROV,1970; PRITULA, 1973; ROBINSON, 1975). Les plantules en contiennent plus : la concentration est élevée dans les racines quand la plante atteint le stade cornet; elle diminue selon les

Fig. 1 Formation du DIMBOA et du 6 MBOA dans les tissus de maïs (d'après KLUN et ROBINSON, 1969).



Glucoside ($C_{15}H_{19}O_{10}N$)

Dimboa ($C_9H_9O_5N$)

6 MBOA

(2,4-dihydroxy-7-méthoxy-1,4 Benzoxazin-3-one) (méthoxybenzoxazolinone)

parties de la plante,proportionnellement à la distance les séparant des racines (KLUN et ROBINSON, 1969). Cependant les feuilles supérieures contiennent plus de ce facteur que les feuilles inférieures (MOLOT et ANGLADE, 1968). Quelques lignées deviennent beaucoup plus sensibles lorsque les plantes vieillissent alors que d'autres gardent leur résistance juvénile (BECK 1957 b). Les lignées qui gardent une concentration élevée en MBOA et BOA dans les cornets au stade âgé sont souvent résistantes (KLUN et ROBINSON, 1969).

Il est à remarquer que le Dimboa donne une idée suffisante de la sensibilité de la lignée et peut être utilisé dans la sélection. La concentration de cette substance dans les cornets indique le degré de la résistance à la première génération, car les chenilles s'alimentent sur ces tissus dès les premiers stades ("Leaf feeding") (GUTHRIE, DICKE et NEISWANDER, 1960), alors que celles de deuxième génération s'alimentent sur les pédoncules, gaines, panicules, spathes, grains, pollens accumulés dans les aisselles des feuilles etc... ("sheath and collar feeding") (GUTHRIE, HUGGANS et CHATTERJI, 1969,1970). La résistance envers la première génération semble facile (GUTHRIE et DICKE, 1972). Ces aspects sont discutés par GUTHRIE (1974) et par le Groupe International (Intern. Working Group, 1973, 1975).

On y insiste sur le fait que les dégâts sur les cornets dus à l'alimentation de l'insecte, doivent être considérés en combinaison avec l'analyse du Dimboa dans les programmes de sélection (KLUN, et coll. 1970, RUSSELL et coll, 1975). Car ce n'est pas le fait "génération" qui est important, mais plutôt la partie de la plante attaquée. Il est donc nécessaire de chercher à obtenir des lignées résistantes contre toutes les générations existantes dans la région (GUTHRIE, RUSSELL et JENNINGS, 1971).

Les différents biotypes provenant des régions géographiques gardent leurs caractéristiques écologiques (survie, taux de diapause etc..) (CHIANG, KEASTER et REED, 1968). REED (1975) observe dans les expériences faites au laboratoire sur les populations F_1, F_2, Bc_1 Bc_2 que leurs réciproques montrent une dominance de diapause. Egalement l'hérédité de la résistance est à considérer dans les programmes futurs. (JENNINGS et coll., 1974 a, b).

En outre, SULLIVAN, GRACEN et ORTEGA (1974), observent que les feuilles du cornet longues, légères et peu pubescentes et ayant une maturité retardée peuvent être responsables de la résistance des lignées exotiques. Donc les autres facteurs d'antibiosis ou caractères morphologiques de la plante ont un rôle important (SULLIVAN, 1975).

b) Elevage de la pyrale au laboratoire.

Puisque la pyrale cause des dégâts considérables au maïs, il était indispensable d'étudier la nutrition de cet insecte en relation avec son hôte. On a cherché à fabriquer un milieu artificiel propre à assurer le développement de tous les stades de cet insecte.

Le terme "milieu artificiel" englobe les milieux "synthétique", ou chimiquement définis encore nommés oligidiques, les milieux méridiques, les milieux holidiques (DOUGHERTY, 1959). Pour l'application et la signification de ces divers milieux, on peut se rapporter à GUENNELON (1967), DADD (1970), HOUSE (1974), VANDERZANT (1974).

En ce qui concerne la pyrale, les besoins qualitatifs et quantitatifs en substances nutritives diffèrent selon le stade de développement de l'insecte et influent sur les caractères physiologiques de celui-ci (GAHUKAR, 1976 b).

Ceci peut être atteint par l'élevage sur le matériel naturel, comme BECK et LILLY (1949) qui utilisent les organes du maïs et SURANY (1957) les gousses de haricot. Mais ceci demande beaucoup de temps et de main d'oeuvre pour changer la nourriture des chenilles ; pose des problèmes d'infection microbienne et de certaines périodes d'indisponibilité dues au matériel végétal. Ces problèmes sont facilement résolus grâce à l'aide des milieux artificiels pour avoir une production de masse ou pour l'élevage permanent.

A cet égard, BOTTGER (1940) a commencé d'étudier les besoins nutritionnels de la pyrale du maïs à l'aide des milieux artificiels et a montré que l'amidon n'est pas utilisé comme source de glucide. Cet auteur fut le premier à obtenir le développement complet des chenilles en utilisant un milieu "synthétique". Un mélange de glucose et de sucrose (2 : 1) satisfait les besoins en glucides ; les vitamines A, B et E sont indiquées pour conduire l'élevage avec succès (BOTTGER, 1942), BECK, LILLY et STAUFFER (1949) ont modifié ce milieu puis BECK et STAUFFER (1950) y ont ajouté les conditions aseptiques. En étudiant les effets des milieux sur la croissance des chenilles, BECK (1953) a montré qu'elles exigent la présence de substances non-identifiées qui se trouvent dans les feuilles du maïs. WRESSELL (1955) a aussi essayé un milieu pour produire des pyrales en masse mais ne donne pas de détails sur la croissance des chenilles.

Si d'autres substances sont nécessaires, les plus importantes sont les sucres et les protéines ; car les besoins des chenilles en ces éléments diffèrent selon leur évolution : les jeunes chenilles exigent des protéines alors que les chenilles âgées ont besoin de sucres. On mélange actuellement 18 mg de caséine et 18 mg de glucose par gramme de milieu (BECK, 1956 b). L'extrait de feuilles de maïs a été comparé avec du jus de luzerne (BECK et SMISSMAN, 1960), de la poudre de feuilles de luzerne (BECTON, GEORGE et BRINDLEY, 1962). BECK et SMISSMAN (1960) observent au cours de 7 générations que la croissance des chenilles et la reproduction des adultes sont diminuées dans

l'élevage sur milieu synthétique contenant cellulose, dextrose, caséine, un facteur de feuilles de maïs, alpha-tocophérol, cholestérol, sels inorganiques, mélange vitaminique et levure de bière. Alors que BECTON, et coll.(1962) élèvent avec succès la pyrale sur un milieu contenant glucose, caséine, cholestérol, huile de maïs, mélange de sels minéraux, chlorure de choline, levure de bière, feuille de maïs et antimicrobiens. L'addition de feuilles ou de l'extrait est nécessaire dans la fabrication du milieu mais la ou les substances en cause ne sont pas identifiées. On les nomme "facteur des feuilles de maïs ("Corn leaf Factor"). En 1964, CHIPPENDALE et BECK ont mis en évidence l'identité de ce facteur avec l'acide ascorbique dont le métabolisme n'est pas encore défini. GUTHRIE et coll. (1965) utilisent le milieu contenant les feuilles de maïs (24% poids sec) et autres constituants mais un mélange vitaminique complexe.

Ensuite BECK, CHIPPENDALE et SWINTON (1968) préparent un milieu sans matière végétale mais y ajoutent un mélange de sels. De même, LEWIS et LYNCH (1969) remplacent la poudre des feuilles de maïs par le germe de blé et observent le même résultat. Ils recommandent ce dernier en raison de sa facilité de préparation. Ensuite REED et coll. (1972) suggèrent quelques modifications dans les techniques de l'élevage en masse : (1) adjonction de l'acide sorbique 3 1/2 % aux papiers destinés à la conservation des chrysalides, (2) noircissement de la moitié supérieure des récipients, (3) diminution de la température de cuisson de 72°C à 54°C. De même, LYNCH, LEWIS et ROBINSON (1973) essaient un milieu lyophilisé qui se révèle également bon pour l'élevage.

Récemment BEIL (1976) a montré que le milieu primitivement utilisé pour Diatraea grandiosella Dyar d'après la formule de DAVIS (1976) est aussi satisfaisante que la formule de GUTHRIE et coll. (1965). Il est à rappeler ici que d'autres milieux de type holidique ont été utilisés dans l'élevage d'O. nubilalis avec succès (NAGY, 1970 ; SALAMA, 1970 ; ISA et KHADR, 1973); ils sont maintenant d'un usage courant car les milieux méridiques sont d'un prix assez élevé. Nous-mêmes, avons été amenés à utiliser un ou plusieurs de ces milieux afin

d'avoir une production permanente, souvent en masse, de pyrale dans les conditions de laboratoire.

c) Recherche expérimentale au laboratoire des causes de résistance.

La résistance peut être due aux facteurs physiques, physiologiques ou biochimiques de la plante (GAHUKAR, 1969 ; MAXWELL, JENKINS et PAROTT, 1972 ; GALLUN, STARKS et GUTHRIE, 1975). Dans le cas du maïs, la résistance variétale est un type d'antibiosis où elle concerne des possibilités d'installation et développement des jeunes stades larvaires (PAINTER 1951, BURDIT et HOLDAWAY, 1959). Cette antibiosis peut être due aux facteurs comme :

. 1° présence de substances toxiques dans la plante,

. 2° déficience de facteurs nutritionnels dans les différentes parties de la plante,

. 3° variation quantitative des éléments nutritionnels,

. 4° indisponibilité des aliments pour l'insecte,

. 5° présence de dissuadants alimentaires provoquant la mort par inanition.

Il est difficile de séparer expérimentalement ces différents facteurs, surtout dans les cas où l'une des substances est à la fois toxique et dissuadante (PAINTER, 1958). Il a été suggéré que la résistance du maïs pourrait être due à une déficience nutritionnelle mais les travaux effectués aux Etats-Unis ont confirmé qu'elle est due à des substances qui agissent à la fois comme dissuadants alimentaires et comme inhibiteurs biochimiques du métabolisme de la chenille. (BECK et STAUFFER, 1957 ; SMISSMAN, LAPIDUS et BECK, 1957).

Les études de BECK (1957 b) et BECK et STAUFFER (1957) montrent que plusieurs facteurs existent dans les tissus du maïs; ils les nomment : éthéro-solubles (RFA, RFC) et éthéro-insolubles (RFB). Le facteur de résistance A (RFA) est la méthoxy - 2 - (3) benzoxazolinone identifiée par SMISSMAN, LAPIDUS et BECK (1957)

et estimée quantitativement par BECK, KASKE et SMISSMAN (1957). Le facteur de résistance C (RFC) : 2,4 - dihydroxy-7methoxy1-1-4-benzoxazine-3-one est un précurseur phénolique du RFA (BECK, 1957 b ; LOOMIS, BECK et STAUFFER, 1957). Sa présence dans les feuilles a été établie ultérieurement par SMISSMAN, KRISTIANSEN et BECK (1962). Le facteur de résistance B (RFB) n'a jamais été isolé ou caractérisé, mais il semble peu important dans le phénomène de résistance de la plupart des variétés du maïs (BECK 1957 b, 1960). La synthèse au laboratoire des facteurs RFA et RFC a été développée par BECK et ses collaborateurs (BECK, 1956 a, 1957 a; LOOMIS, BECK et STAUFFER, 1957 ; SMISSMAN, LAPIDUS et BECK, 1957 ; BECK et HANEC, 1958 ; BECK et SMISSMAN, 1960, 1961).

VIRTANEN (1961) étudiant les effets inhibiteurs dans le blé, le maïs et l'orge montre que le précurseur glucoside existe déjà dans les plantes et la formation de ces 2 substances apparaît en raison d'une action enzymatique dans les tissus écrasés. Le précurseur ne montre pas une action inhibitrice mais l'aglucone est un agent efficace contre les maladies et la pyrale. Il a été également suggéré que le RFA est peut être produit dans le tractus digestif des chenilles. BECK (1957 a) observe que l'activité du RFA est inversement proportionnelle à la concentration en glucose de l'alimentation. Les chenilles âgées, attirées vers les organes riches en sucres, sont ainsi protégées contre le RFA. Il en résulte que le glucose intervient peut être dans la dégradation métabolique et l'élimination du RFA (BECK, 1960). Il a été également observé au laboratoire que le RFA exerce un effet défavorable sur le comportement alimentaire des chenilles du premier stade en agissant comme un dissuadant alimentaire et pas simplement comme répulsif (BECK, 1960).

Les facteurs génétiques et biochimiques sont bien étudiés mais une combinaison de ces facteurs est à envisager. KLUN et coll. (1970) démontrent à l'aide d'une analyse diallèle de 11 lignées consanguines qu'il existe une corrélation très significative entre la concentration en Dimboa et la résistance à l'alimentation sur le feuillage ("Leaf feeding") des lignées pures et des premiers croisements.

C) PROBLEMES ABORDES DANS LA PRESENTE ETUDE

Nous avons entrepris le présent travail pour préciser certains aspects de la nutrition de la pyrale du maïs d'une part, et de la résistance du maïs à l'aide des milieux artificiels d'autre part. Au départ, nous avons eu à mettre bien au point l'élevage de cet insecte; le milieu artificiel étant considéré comme un moyen pour l'élevage permanent au Laboratoire.

Dans nos essais préliminaires, nous avons constaté qu'un milieu à base de semoule de maïs avait donné de bons résultats pour l'élevage de plusieurs espèces de Noctuidae. Comme il n'est pas cher et qu'on peut aisément s'en procurer, nous avons essayé ce milieu pour la pyrale du Maïs. Etant donné que la plupart des milieux nutritifs essayés par les auteurs sont recommandés sans référence à d'autres et qu'en plus, les résultats diffèrent en fonction des conditions expérimentales, la souche, les méthodes d'élevage etc... nous avons pensé nécessaire de comparer les effets de différents milieux sur l'élevage de la pyrale du maïs. Cela nous a conduit à en définir un qui soit simple et d'un prix raisonnable avec des performances satisfaisantes. Par ailleurs, dans le but de contrôler la production de l'élevage dans les conditions de laboratoire et d'étudier les effets propres à l'alimentation des chenilles, nous avons étudié les relations qui existent entre les paramètres larvaires et nymphaux ainsi que l'influence de ces divers milieux sur la fécondité, critère très important dans l'évolution de ce ravageur.

De plus, il nous a paru nécessaire de continuer l'élevage sur les différents milieux pour définir les effets physiologiques de ceux-ci. Nous avons pour ce faire mené 8 générations successives sur les milieux à base de germe de blé et de haricot sec. Dans le cas de ce dernier, moins efficace au départ, nous avons pu cependant l'utiliser et le recommander dans l'élevage de masse avec quelques modifications de la composition et surtout avec une addition de "Pangamine",

mélange vitaminique provenant de Tchécoslovaquie.

Il est connu que l'élevage continu agit sur les caractères physiologiques des insectes et donc sur leur "agressivité." Nous avons vérifié ce fait chez la pyrale à l'aide d'une infestation artificielle de maïs au champ par une souche de la nature et une autre provenant du laboratoire.

Les études approfondies sur la biologie, et l'agressivité d'O.nubilalis nous ont amené à voir si l'alimentation jouait un rôle important dans la résistance du maïs. Jusqu'à présent, la nutrition a été étudiée en relation avec la sélection de l'hôte principal, Zea mays L. Nous avons cherché à élargir ce domaine de recherches en utilisant un milieu alimentaire artificiel dont les effets sur la biologie de la pyrale ont été précédemment bien établis et en y ajoutant, soit de la poudre de feuille de maïs séchée provenant de variétés sensibles ou résistantes, soit diverses concentrations de Dimboa sur le comportement alimentaire des chenilles nouveau-nées. Ceci pour comprendre le métabolisme d'action du Dimboa et ses effets propres sur l'alimentation. Les effets propres du Dimboa sur la consommation ont ultérieurement été étudiés.

Enfin, puisque la digestion se fait au niveau du mésenteron, nous avons effectué une étude histologique de cet organe. Ces études fondamentales nous permettent de comprendre le mode d'action du Dimboa et la résistance des chenilles aux faibles concentrations.

Nous espérons que les travaux entrepris dans ce mémoire serviront à mieux connaître la physiologie nutritionnelle de la pyrale du maïs, ainsi que les effets du Dimboa, substance allélochimique et à permettre une meilleure voie d'amélioration des lignées ou hybrides ou variétés existantes. Ceci pourra aider à mettre au point une meilleure méthode de lutte et son insertion dans la lutte intégrée.

Nous appelons "agressive" une souche plus apte à se développer ou à se multiplier qu'une autre, en provoquant plus de dégâts.

CHAPITRE I

CONDITIONS EXPERIMENTALES GENERALES

Nous exposons ici les données générales concernant le matériel et les techniques tout au long de notre étude, alors que des précisions complémentaires seront données à propos de chaque expérimentation.

A) MATERIELS UTILISES

1 - Etudes au laboratoire

a) Préparation et sélection du matériel entomologique

La souche de pyrale provient de la Station de Zoologie du Centre de Recherches Agronomiques du Sud-Est à Montfavet où l'élevage sur alimentation artificielle a été entrepris dès 1965 et maintenu depuis assez régulièrement.

Après avoir obtenu les pontes sur papier cristal, nous avons commencé l'élevage au laboratoire au début de l'année 1973 sur substrat naturel (maïs) : les premiers stades larvaires sur les feuilles et les derniers sur les tiges, la nymphose s'effectuant dans du carton ondulé. Les papillons étaient placés dans des cages grillagées (20 x 16 cm) pour faciliter au maximum l'accouplement et la ponte. Une plantule de maïs se trouvait dans chaque cage et changée tous les 2 ou 3 jours. Cette technique d'élevage a été utilisée pendant 2 générations successives, mais elle nous est apparue peu facile, car le maïs n'était pas toujours disponible et les tiges obligent un changement très fréquent, qui amène une manipulation délicate des chenilles. Afin de surmonter ces difficultés nous avons utilisé un milieu à base de semoule de maïs.

En 1973, et de nouveau en 1975, la souche de l'élevage permanent a été remplacée par une nouvelle souche : les chenilles récoltées dans les champs de maïs à Ablis (Yvelines) furent mises en élevage sur le milieu alimentaire

artificiel. Ce changement a été fait en raison d'une perte de l'"agressivité"de la souche, car l'élevage permanent peut avoir des conséquences défavorables sur la physiologie et par suite jouer un rôle important dans la vigueur des chenilles. Ces faits ont été suivis tant dans les conditions naturelles qu'au laboratoire.

Au cours des études concernant l'effet des tissus du maïs sur la biologie de la pyrale nous avons utilisé 3 souches : l'une provenant d'un élevage continu sur milieu artificiel à base de semoule de maïs et les deux autres ayant pour origine des maïs infestés par des chenilles diapausantes des régions de Colmar (Alsace) et Pierrelatte (Vallée du Rhône), où il y a une et deux générations par an respectivement depuis de nombreuses années. Les tiges sont disséquées au laboratoire et les chenilles sont mises dans des boîtes garnies de papier ondulé afin de lever la diapause (nous avons mis les chenilles) en jour long, à température basse (15°C) pendant un mois, puis à 20°C pendant le mois suivant et enfin à 25°C jusqu'à l'obtention des adultes. L'hygrométrie est de l'ordre de 70-80% et la lumière de 16 h (LD-16:8). De l'eau est pulvérisée de temps en temps sur les boîtes car les chenilles boivent en fin de diapause (BECK, 1967). Ces conditions nous ont permis d'obtenir des adultes dont on a collecté les pontes sur le papier cristal. Celles-ci furent utilisées dans nos expériences afin de garder les caractères physiologiques des deux biotypes.

Dans toutes les autres expériences, effectuées au laboratoire, seule la souche maintenue sur le milieu artificiel est employée.

b) Milieux artificiels

b_1) Elevage de masse

Pour l'élevage de masse, le milieu à base de semoule de maïs a été utilisé tout au long des études faites, quelques modifications ayant cependant été apportées dans sa composition. Nous avons sélectionné ce milieu parmi les autres

car il donne de bons résultats dans les élevages des noctuelles. Ses ingrédients sont facilement disponibles; il est peu coûteux, facile à préparer et donna un rendement satisfaisant dans nos élevages préliminaires de la pyrale.

Au moment du changement de souche au courant de l'été 1975, nous avons constaté une infection par le protozaire, Perezia (=Nosema) pyraustae Paillot (Sporozoa : Nosematidae) chez des chenilles récoltées dans les champs et celles de l'élevage, car les adultes survivent moins de temps, pondent moins et le taux d'éclosion est plus faible que celui des adultes sains (ZIMMACK et BRINDLEY, 1957). En outre, les protozaires sont transmis d'une génération à l'autre par l'intermédiaire de l'oeuf (KRAMER, 1959; LYNCH et LEWIS,1971). Ces protozaires survivent dans les fécès aussi. Ces aspects sont importants dans l'élevage continu. Dans notre élevage, l'addition de Fumidil B (Bicyclohexyl ammonium fumagilline) dans une proportion de 550 ppm a permis de continuer l'élevage sans difficulté. L'adjonction de ce produit a été adoptée d'après LEWIS, LYNCH et GUTHRIE (1972).

b_2) Elevage individuel.

Nous avons utilisé 5 milieux nutritifs artificiels oligidiques selon le type d'expérience.

c) Matériel végétal

Dans les études de la résistance du maïs à l'aide des milieux artificiels, nous avons expérimenté 2 lignées : CI31A et WF9, l'une résistante et l'autre sensible à l'attaque d'O.nubilalis. Ces plantes sont cultivées dans des pots, en serre avec la solution nutritive mise au point par HOAGLAND et ARNON (1938) jusqu'au stade désiré, puis récoltées et mises tout de suite au congélateur (-20°C).

Fumidil B - Abbott Laboratoires, North Chicago, U.S.A.

La solution nutritive est la suivante pour 10 litres d'eau permutée :

. Nitrate calcique ($Ca\ NO_3$) - 8,20 g
. Nitrate potassique (KNO_3) - 5,05 g
. Phosphate monopotassique ($KH_2\ PO_4$) - 1,36 g
. Sulfate magnésique ($Mg\ SO_4$) - 2,40 g

Les stades phénologiques du maïs considérés sont: cornet jeune, cornet d'âge moyen et cornet âgé. Les échantillons des feuilles ont été ensuite lyophilisés sous vide et utilisés aux différentes proportions dans les milieux artificiels.

2 - Etudes au champ

a) Matériel entomologique

Deux souches de pyrale furent utilisées pour infester les pieds de maïs :

1) Oeufs provenant des adultes d'un élevage continu (20ème génération) sur milieu artificiel.

2) Oeufs récoltés dans la nature à Orsonville (Yvelines) en juillet-août 1974. Ceci pour les effets de l'agressivité de ces 2 souches dans les conditions naturelles.

b) Matériel végétal

Les mêmes lignées (CI31A et WF9) sont plantées au champ. Les techniques culturales ont été suivies normalement comme pour la culture de maïs voisine (terrain d'expérimentation de la Station de Zoologie).

B) TECHNIQUES ADOPTEES

1) - Etudes au laboratoire

a) Entretien de la souche

Nous avons adopté une nouvelle technique de présentation du milieu aux chenilles, car les méthodes appliquées et modifiées pour une production permanente

d'O.nubilalis à la Station de Zoologie de Montfavet consistaient à laisser les chenilles dans la même boîte pendant tout leur développement (GUENNELON, comm. pers.). Des moisissures apparaissent alors sur le milieu, ce qui prolonge le développement ou provoque la mortalité des chenilles. De plus, nos élevages se déroulant à une température élevée (28°C) la dégradation et la fermentation de la semoule de maïs et de la levure de bière sont favorisées. Notre technique qui consiste à changer le milieu au cours de l'élevage nous a permis de maintenir la souche au laboratoire de manière satisfaisante.

b) Elevage individuel au cours des expériences

Dans nos expériences, nous n'avons pas utilisé la méthode d'élevage individuel dans les tubes, adoptée par GUTHRIE et coll. (1965), LEWIS et LYNCH (1969), ISA et KHADR (1973). Par contre grâce à l'élevage dans des boîtes rondes en plastique (2 X 5 cm), le milieu est renouvellé facilement tous les 2 ou 3 jours et l'observation de la mortalité et de la mue en est facilitée. Cette technique est décrite par ailleurs de manière plus détaillée (GAHUKAR, 1976 c).

c) Observations biologiques et histologiques

Les pesées des chenilles et des chrysalides sont effectuées sur une balance Mettler Type M_5 au 1/10 de milligramme. La viabilité et l'éclosion des oeufs sont observées au microscope binoculaire Wild-5.

Le comportement alimentaire des chenilles nouveau-nées a été étudié par les techniques de "choix-multiple" et "choix-simple" à l'aide de plusieurs milieux.

Pour quantifier le Dimboa présent dans les poudres de feuilles de maïs, nous adoptons les techniques, d'une part d'extraction et de purification de cette substance, d'autre part celles d'examens quantitatifs à l'aide de la chromatographie et la spectrophotocolorimétrie.

Des techniques histologiques ont été appliquées au 4ème stade larvaire in toto et également au mésentéron isolé du même stade.

2) - Etudes au champ

Les infestations artificielles sont réalisées sur les deux lignées de maïs en attachant sur les feuilles du cornet les pontes qui se trouvent soit sur papier cristal (souche laboratoire), soit sur la feuille de maïs (souche nature) et ceci toutes les 3 plantes. Environ 20 plantes de chaque lignée ont été choisies pour chaque souche.

C) - CONDITIONS D'ELEVAGE

Les conditions d'élevage de la pyrale diffèrent selon les auteurs (LEWIS et LYNCH, 1969; SALAMA, 1970; NAGY, 1970; LEWIS, LYNCH et GUTHRIE, 1971; REED et coll., 1972; ISA et KHADR, 1973). De plus souvent une seule température est utilisée pendant toute la vie de l'insecte. Les conditions suivantes ont été conservées pour la souche et nos expériences. Les chenilles sont élevées dans une salle climatisée maintenue à 28°C, 70-80% H.R. et 16 h. d'éclairement (LD-16 : 8). Les papillons sont mis à 24 ± 1°C, 60-70% H.R. et à la même durée d'éclairement. L'abaissement de la température à 24°C favorise la longévité des imagos et la fécondité des femelles. Du sable mouillé placé sous la cage maintient celle-ci suffisamment humide. La température élevée utilisée pour l'élevage des chenilles et des chrysalides, nous a permis d'obtenir de 11 à 12 générations par an sans difficulté, ce qui a facilité le déroulement de nos expériences.

D) CRITERES RETENUS

Dans les études biologiques sur les divers milieux artificiels nutritifs, les critères suivants sont considérés : durée des stades de l'insecte, poids larvaire et nymphal, mortalité larvaire et nymphale, longévité et taille des adultes, fécondité des femelles ainsi que durée d'incubation et taux d'éclosion des oeufs.

Dans les expériences sur la physiologie nutritionnelle de l'insecte, nous avons retenu les critères concernant la consommation, la digestion et l'assimilation de la nourriture.

Selon les expériences, des analyses statistiques de variance ou/et de régression des résultats expérimentaux furent utilisées.

CHAPITRE II

ALIMENTATION ARTIFICIELLE DE LA PYRALE DU MAÏS

A. CARACTERES BIOLOGIQUES EN FONCTION DE LA COMPOSITION DES MILIEUX NUTRITIFS ARTIFICIELS

Nous avons suivi ce programme systématiquement pour observer les variations des divers paramètres biologiques de la pyrale en fonction des milieux, soit en élevage individuel, soit en élevage de masse.

a) Nouvelles techniques adoptées au niveau du milieu artificiel pour l'élevage de masse.

L'élevage de masse est nécessaire afin de procéder à des infestations artificielles de la plante à grande échelle pour étudier la sensibilité des lignées de maïs. Pour avoir une grande production de papillons, la récolte des tiges contenant des larves en diapause a été effectuée par divers auteurs qui font pondre les femelles après leur émergence et utilisent les pontes pour l'infestation artificielle (GUTHRIE et coll. 1965; ROBIN, 1964). L'utilisation de milieux artificiels permet de surmonter ces difficultés (RAUN, 1966). De plus, pour mener des essais en laboratoire, on doit disposer d'une production homogène et des stades désirés tout au long de l'année, ce qui est possible grâce à ces milieux.

L'élevage de la pyrale est effectué de manière satisfaisante sur les milieux contenant du matériel végétal. C'est ainsi que nous avons essayé un milieu à base de semoule de maïs d'après la formule de POITOUT et BUES (1970) mais avec des modifications dans la composition et une présentation différente (GAHUKAR, 1975 b.).

Le milieu est de type oligidique et contient : eau distillée (170 ml), agar (4 g), semoule de maïs (28 g), germe de blé (7 g), levure de bière (7,50 g), acide ascorbique (1g), acide benzoïque (0,30g), Nipagine (0,25g), formol (0,35 ml).

Le mélange eau distillée-agar est chauffé jusqu'à ébullition puis laissé à refroidir jusqu'à température de 56°C. Cette température est suffisamment élevée pour que le gel reste à l'état fluide tout en évitant une altération des substances incorporées au milieu. Ce gel fluide est introduit dans un "Mixer" WARING avec les autres ingrédients dûment pesés, et le tout est mélangé pendant 3 minutes à la vitesse de 15,000 tm.

Le milieu est coulé dans des boîtes parallélépipédiques en matière plastique (15 x 10 x 2 cm). Après refroidissement jusqu'à température ambiante, ces boîtes sont fermées par des couvercles étanches et conservées au réfrigérateur. Il est à noter qu'une trop longue conservation du milieu peut amener la dégradation et l'oxydation des constituants.

Les résultats portant sur les principaux caractères biologiques de la pyrale aux différents stades dans ces conditions d'élevage ont déjà été publiés (GAHUKAR, 1975 b). Nous les rappelons ici :

- survie des chenilles : 72-90%
- durée de développement des chenilles : 17 jours en moyenne
- rendement en adultes normalement constitués : 65-75%
- fécondité : 12 ooplaques par femelle
- sex-ratio (mâle/femelle) : 1 : 0,95

b) Critères biologiques étudiés sur cinq milieux artificiels en élevage individuel.

La nature de l'alimentation joue un rôle important dans la biologie de la pyrale. Nous avons étudié cet aspect à l'aide de 5 milieux à base de : semoule de maïs (du commerce ou de grain entier), germe de blé, haricot et poudre de luzerne.

La technique de l'élevage individuel et ses résultats sur les critères énumérés dans le chapitre I ont déjà fait l'objet d'une publication (GAHUKAR, 1976 c).

Rappelons que nous n'avons pas noté de différence entre les caractères physiques(texture, consistance etc..) des divers milieux. Ce sont donc les composants de ces milieux qui jouent un rôle essentiel, et qui permettent de les classer en ordre décroissant suivant leur valeur nutritionnelle : germe de blé, semoule de maïs en grain entier, poudre de luzerne, semoule de maïs du commerce et enfin haricot; cependant la mortalité nymphale et la viabilité des oeufs ne sont pratiquement pas affectées dans le cas du dernier milieu. Notons que la préparation du milieu - germe de blé est coûteuse.

En traitant statistiquement l'ensemble des données biologiques obtenues sur les 5 milieux, on constate une interaction entre milieux alimentaires, générations et sexes; cependant le facteur "milieu alimentaire" est le plus important.

Etant donné les résultats satisfaisants obtenus, on peut préconiser l'usage de la semoule de maïs (grain entier) en raison de son bon rendement pour l'élevage de la pyrale. Les autres milieux sont utilisés et peuvent être recommandés selon la disponibilité des constituants nutritifs à ajouter.

c) Effet nutritionnel d'un supplément "Pangamine" ajouté au milieu-haricot.

Ainsi que nous l'avons signalé précédemment, l'élevage continu de la pyrale du maïs est possible sur divers milieux artificiels. En effet le développement et la production maximale de pontes, en élevage au laboratoire, dépendent de la qualité et de la quantité des substances nutritionnelles (glucides, protéines, lipides, sels minéraux, vitamines) ajoutées au milieu.

Dans la comparaison des 5 milieux artificiels précédemment cités, nous avons noté que le milieu à base de haricot augmente la mortalité larvaire, retarde le développement, réduit la fécondité des femelles et modifie la sex-ratio (prédominance des mâles) (GAHUKAR, 1976 c). En Tchécoslovaquie, le milieu à base de haricot additionné du mélange vitaminique "Pangamine" donne un résultat satisfaisant dans l'élevage d'Agrotis segetum Schiff, Lymantria (=Porthetria) dispar L. et Hyphantria dispar. Dru. (WEISMANN, Comm.Pers.). Cette étude a donc été poursuivie, en premier lieu, afin d'observer les effets de la Pangamine à une certaine dose sur les caractères biologiques de la pyrale en élevage individuel par comparaison à un autre mélange vitaminique, le VDFM (Vitamin Diet Fortification Mixture) (GAHUKAR, 1976 c).

En deuxième lieu, afin d'améliorer de tels milieux pour l'élevage de masse, en modifiant la composition qualitative et quantitative du milieu haricot.

Mode opératoire

1 - Milieux utilisés.

Le milieu à base de haricot n'avait pas jusqu'à présent été utilisé pour l'élevage d'O.nubilalis. Il nous a donc fallu l'adapter pour nos essais en élevage individuel et de masse; sa composition est donnée dans le Tableau 1 et son mode de fabrication est précisé ci-dessous.

L'agar est chauffé avec la moitié du volume total d'eau nécessaire jusqu'à ébullition, puis ajouté aux haricots préalablement cuits et moulus après un trempage d'une nuit.

TABLEAU I

MILIEU A BASE DE HARICOT UTILISE DANS L'ELEVAGE DE LA PYRALE

(Chiffres en grammes)

Ingrédients	Milieux					
	I	II	III	IV	V	VI
Eau	600	600	550	550	500	500
Haricots	100	100	100	80	80	80
Agar	10	10	10	10	10	10
Levure de bière	10	10	10	10	10	10
Caséine * (non vitaminée)						20
Germe de Blé	-	-	-	20	40	40
V.D.F.M. *	3	-	-	-	-	-
Pangamine **	-	3	6	9	12	15
Acide ascorbique	2	2	2	2	2	2
Solution antimicrobienne ***	11	11	11	11	11	11

Milieux I et II sont testés seulement en élevage individuel.

* Vitamin Diet Fortification Mixture, Nutritional Biochemicals, Inc, U.S.A.

** Prazske Pivovary N.P. Zavod Branik, Biochemicky Activae Krasnic, Praha.

*** La solution est préparée au laboratoire (1,5g Nipagine et 2g acide sorbique dans 17ml d'éthanol 96%).

Ce mélange est refroidi jusqu'à 54°C. Cette température, supérieure à celle utilisée pour les autres milieux, a été adoptée suite aux données de REED et coll. (1972) pour le milieu contenant du germe de blé.

Les autres ingrédients sont mélangés dans un "Mixer" puis incorporés au mélange. Une solution antimicrobienne contenant 1,5g de Nipagine et 2g d'acide sorbique dilués dans 17ml d'alcool éthylique (96%), est ajoutée après chauffage. L'ensemble est mélangé à nouveau pendant 3 minutes à la vitesse de 15,000 tm. A partir de cette étape, la préparation est la même que celle décrite précédemment pour les autres milieux. Le milieu se conserve sans altération pendant au moins une semaine.

Le mélange spécial "Pangamine" utilisé dans cette étude, est disponible sous forme de comprimés fabriqués par le Centre pour l'activation des enzymes, Brasserie Nationale, Prague. Ce mélange contient :

- des substances azotées : protéines, cerevisine, zymocaséine, nucléoprotéides, glutathion, acides aminés.
- des lipides
  - acides gras : acides linoléique et linolénique
  - stérols : lécithine, Kefaline, ergostérol.
- des glucides : glycogène, ribose, desoxyribose
- des minéraux : Ca, P, K, Mg, Fe, Co, Cu, Zn, Mn, etc.
- des vitamines: thiamine, riboflavine, pyridoxine, niacine, acide folique, acide pentothénique, acide-p-aminobenzoïque, acide pangaminique, calciferol, choline.
- des enzymes et d'autres substances ayant des activités biologiques comme la biotine, l'inositol, un facteur antianémique, la glycokinine, le cytochrome et une mélanine pigmentaire.

La"Pangamine" a été obtenue par les bons soins de Monsieur WEISMANN, Ivanka Pri Dunaji (Tchécoslovaquie).

2 - Elevage de l'insecte

On a utilisé les insectes de la 7ème génération de l'élevage permanent pour l'expérimentation en élevage individuel, et la 10ème génération pour l'élevage de masse.

Dans l'élevage individuel, les chenilles dès leur éclosion sont placées dans des boîtes et l'élevage est poursuivi selon la méthode déjà décrite (GAHUKAR,1976 c). L'expérience a été répétée 4 fois avec 50 chenilles par répétition. Les observations portant sur la mortalité larvaire et nymphale, l'émergence des adultes, la sex-ratio ont été faites dans ces conditions. Par contre, les observations concernant la durée totale du développement des chenilles et des chrysalides et le poids nymphal ont porté sur seulement 50 individus. Trente couples ont été étudiés pour la longévité et la fécondité des femelles, et 20 couples pour leur envergure. Les chrysalides ont été pesées 24 h après leur formation. La ponte est récoltée chaque jour à partir des cages d'oviposition (11 x 8 cm). La viabilité a été observée sur 20 ooplaques un jour après l'oviposition, à l'aide d'un microscope. L'éclosion est ensuite observée sur ces ooplaques. Les observations ont été poursuivies pendant 3 générations successives.

Dans l'élevage de masse, les pyrales ont été élevées dès l'éclosion, en groupes (100 chenilles par boîte) selon la technique décrite antérieurement (GAHUKAR,1975 b) avec quelques modifications. Pour chaque milieu, nous avons fait 5 répétitions (2 boîtes par répétition) et les résultats regroupent les observations faites pendant 2 générations successives.

Après 20 jours, nous avons noté la survie des individus et le taux de nymphose. Dix chenilles et 10 chrysalides de chaque répétition sont pesées le même jour. Les chenilles survivantes sont gardées en élevage jusqu'à la fin de leur développement. L'émergence des adultes est notée chaque jour; les papillons présentant des ailes

malformées sont considérés comme anormaux. Parmi les adultes normaux, 30 mâles et 30 femelles sont placés dans des cages d'oviposition (20 x 16 cm). La ponte est récoltée chaque jour et la viabilité est observée comme nous l'avons décrit plus haut pour l'élevage individuel.

Résultats

a) Elevage individuel

Les résultats sont rassemblés dans le Tableau 2.Une incorporation de "Pangamine" dans le milieu haricot (milieu II) donne une survie larvaire de l'ordre de 80 à 86%. C'est surtout au cours des premiers stades que nous avons observé de la mortalité. Le développement s'effectue en 20,6 jours en moyenne et on enregistre un raccourcissement de cette durée d'une génération à l'autre. La mortalité nymphale varie entre 4 et 6%. Les chrysalides femelles se développent plus vite que celles des mâles. Le poids nymphal des deux sexes augmente à la deuxième génération, mais cet effet n'est pas constant au cours de l'élevage.

On observe (Tableau 3) que le pourcentage d'émergence des papillons normaux est satisfaisant (92%). Les femelles ont une longévité moyenne de 8 jours, et les mâles de 7 jours.

Les ailes ont une envergure moyenne de 22,3 mm pour les mâles et de 23,6 mm pour les femelles. Chaque femelle pond en moyenne 153 (72-382) oeufs pendant sa vie et cette quantité varie au cours des générations. Le milieu avec Pangamine ne modifie pas la sex-ratio (Tableau 3). La presque totalité des oeufs est fertile (93%) et le taux d'éclosion est de l'ordre de 81% (Tableau 4). En ce qui concerne la durée de développement ovarien, il n'y a pas de différence au cours des 3 générations. Une génération dure en moyenne 39 jours (Tableau 5).

b) Elevage de masse

Les résultats comparés de 6 milieux à base de haricot (milieu I à VI du Tableau 1) sont présentés dans le Tableau 6. La survie des chenilles augmente, passant de 61 à 86% avec l'addition de doses croissantes de Pangamine, cependant, les

TABLEAU 2

EFFET NUTRITIONNEL DE LA PANGAMINE (mil. II) et DU VITAMIN DIET FORTIFICATION MIXTURE (V.D.F.M.) (mil. I) SUR LA SURVIE ET LE DEVELOPPEMENT DES CHENILLES ET DES CHRYSALIDES.

		Chenille		Chrysalide				
Génération	Supplément	survie (%)	Durée (jours)	Mortalité (%)	Durée (jours) ♂	Durée (jours) ♀	Poids (mg) ♂	Poids (mg) ♀
	Pangamine	86,5	21,4 ± 3,4	5,8	8,5 ± 1,8	8,4 ± 2,2	56,4 ±3,7	63,7 ± 5,2
remière	V.D.F.M.	77,0	20,1 ± 2,9	4,5	6,5 ± 1,1	6,4 ± 1,4	47,7 ± 3,7	53,3 ± 4,2
	Pangamine	80,0	20,7 ± 4,0	6,3	6,5 ± 2,1	5,7 ± 1,3	63,1 ±5,3	64,8 ± 5,6
euxième	V.D.F.M.	82,5	22,7 ± 3,3	6,1	7,5 ± 1,7	6,6 ± 1,5	43,7 ±3,5	47,0 ± 3,6
	Pangamine	82,5	19,7 ± 3,0	4,2	6,6 ± 1,3	5,8 ± 1,6	58,1 ±3,4	64,0 ± 5,5
roisième	V.D.F.M.	86,5	20,2 ± 3,0	5,8	7,7 ± 1,6	8,0 ± 1,8	42,1 ±3,2	47,3 ± 3,7
	Pangamine	83,0	20,6	5,4	7,2	6,6	59,2	64,1
oyenne	V.D.F.M.	82,0	21,0	5,4	7,2	7,0	44,5	49,2

TABLEAU 3

EFFET NUTRITIONNEL DE LA PANGAMINE (mil. II) et du VITAMIN DIET FORTIFICATION MIXTURE (V.D.F.M.)(mil.I) SUR L'EMERGENCE, LA LONGEVITE, LA TAILLE, LA FECONDITE ET LA SEX RATIO.

énération	Supplément	Adultes normaux (%)	Longévité (jours)	Envergure des ailes (mm)	Fécondité (nombre d'oeufs) (par femelle)	sex-ratio (Nombre de femelles pour 100 ♂)
	Pangamine	89,6	6,6 7,5 ±1,3 ± 1,3	22,3 23,9	147,3 (72-238)	89
emière	V.D.F.M.	88,5	7,6 7,9 ±1,5 ± 1,5	20,3 21,4	134,3 (14-265)	87
	Pangamine	95,1	6,4 7,7 ±1,4 ± 1,6	22,5 23,5	150,3 (11-223)	100
uxième	V.D.F.M.	90,3	6,6 8,6 ±1,3 ± 1,7	21,1 22,0	152,2 (55-286)	96
	Pangamine	91,1	8,6 8,8 ±1,6 ± 1,7	22,2 23,4	161,7 (100-382)	92
oisième	V.D.F.M.	88,4	6,7 9,3 ±1,2 + 1,7	20,2 22,3	123,5 (60-251)	94
	Pangamine	91,9	7,2 8,0	22,3 23,6	153,1	94
yenne	V.D.F.M.	89,3	6,9 8,6	20,5 21,9	136,6	92

Les chiffres entre parenthèses représentent la fécondité minimum et maximum

TABLEAU 4

EFFET NUTRITIONNEL DE LA PANCAMINE (mil. II) et DU VITAMIN DIET FORTIFICATION MIXTURE (V.D.F.M.) (mil. I) SUR LA VIABILITE ET L'INCUBATION DES OEUFS.

Génération	Oeufs stériles (%)		Eclosion (%)		Durée d'incubation (jours)	
	Pangamine	V.D.F.M.	Pangamine	V.D.F.M.	Pangamine	V.D.F.M.
Première	8,3	14,8	78,9	75,0	3,6	4,1
Deuxième	6,1	12,3	82,2	77,7	3,7	3,8
Troisième	7,4	11,9	81,6	78,6	3,7	4,1
Moyenne	7,3	13,0	80,9	77,1	3,7	4,0

TABLEAU 5

EFFET NUTRITIONNEL DE LA PANCAMINE (mil. II) et DU VITAMIN DIET FORTIFICATION MIXTURE (mil.I) SUR LA DUREE MOYENNE (JOURS) d'UNE GENERATION.

Génération	Pangamine	V.D.F.M.
Première	39,3	38,5
Deuxième	39,6	40,6
Troisième	38,8	40,1
Moyenne	39,2	39,7

3 premiers milieux montrent peu de différence. La mortalité larvaire est plus élevée pendant les 2-3 premiers jours ; mais les survivants se développent normalement en 18 jours en moyenne (de 14 à 23 jours). L'augmentation du poids nymphal de 62 à 88 mg et du taux de nymphose de 55 à 83% au 20ème jour révèle nettement les effets nutritionnels de la Pangamine. Dans les jours qui suivent, les chenilles survivantes se transforment également en chrysalides et le taux de nymphose atteint alors 90 à 95% pour tous les milieux. L'augmentation de poids des chrysalides est plus importante dans les milieux V et VI. Ceci peut être dû à l'addition de caséine et de germe de blé. Les chrysalides se développent en 7 à 9 jours. On note une augmentation du nombre desfemelles qui passe de 67 à 92 pour 100 mâles (Tableau 6). La fécondité des femelles est également améliorée. Les doses de Pangamine dans le milieu haricot élèvent . la viabilité de 87 à 93% et le taux d'éclosion de 78 à 90%.

Discussion

a) Elevage individuel

Nous avons comparé les résultats de l'élevage individuel sur milieu haricot + Pangamine à ceux obtenus sur milieu haricot additionné de VDFM. Les observations montrent que seul le poids des chrysalides mâles et femelles est affecté par le remplacement du VDFM par la Pangamine ; il est nettement supérieur. Les autres critères portant sur les chenilles ou les chrysalides conservent la même valeur qu'avec le VDFM.

Les chrysalides donnent des adultes de taille légèrement supérieure. Cet effet nutritionnel se manifeste non seulement sur ces 2 caractères, mais aussi sur la reproduction. Ce milieu augmente la fécondité des femelles. Le poids nymphal est probablement en corrélation directe avec la fécondité. L'émergence des adultes normaux, leur longévité, leur sex-ratio et la durée d'incubation des oeufs ne sont pas modifiées. Par contre, la viabilité des oeufs est améliorée. La durée moyenne d'une génération reste la même par l'addition de Pangamine.

TABLEAU 6

INFLUENCE DE DIVERS MILIEUX A BASE DE HARICOT ET A DIFFERENTES DOSES DE PANGAMINE SUR LES CARACTERES BIOLOGIQUES DE LA PYRALE ELEVEE EN MASSE.

Milieu	Survie larvaire le 20è jour (%)	Poids larvaire le 20è jour (mg)	nymphose le 20è jour (%)	Poids nymphal (mg)	Emergence adultes normaux ou anormaux (%) (N)	(A)	Sex-ratio (Nombre de femelles/100 mâles)	Fécondité (Nombre d'ooplaques par femelle)	Viabilité des oeufs (%)	Eclosion des oeufs (%)
I	60,8	62,2	55,3	60,4	65,9	11,2	67	6,8	87,1	78,5
II	63,2	65,9	58,9	63,2	63,5	10,1	83	6,9	89,3	77,3
III	66,6	68,4	63,7	66,8	65,9	9,3	80	7,0	88,7	78,6
IV	72,0	73,0	71,6	66,3	67,2	5,9	88	7,2	90,2	80,3
V	81,2	86,7	75,8	71,3	72,1	6,3	87	7,4	91,8	84,5
VI	85,8	88,3	82,9	77,4	79,2	5,9	92	8,3	92,7	89,7

b) Elevage de masse

Quand les pyrales sont élevées en masse sur les divers milieux, l'ensemble des critères est affecté par l'addition de doses croissantes de Pangamine. En outre, nous avons remarqué que le poids des chrysalides semble lié à celui des chenilles. La composition du milieu n'a aucun effet sur la durée de développement des chrysalides. La Pangamine soit substituée au VDFM (milieu I), soit ajoutée en doses réduites (milieux II, III, IV) n'améliore pas la fécondité des femelles de façon nette, bien que les chrysalides pèsent plus lourd, car nous avons mis en évidence ultérieurement pour certains milieux une relation entre ces 2 critères.

Nous avons constaté que l'incorporation de caséine et de germe de blé à dose supérieure dans des milieux contenant de la Pangamine à dose également élevée (milieux V et VI), mais moins aqueux, améliore également l'ensemble des critères étudiés.

Les effets du mélange Pangamine sur les caractères biologiques de la pyrale élevée individuellement ou en masse peuvent être considérés comme satisfaisants. En effet si l'on compare les valeurs des divers critères étudiés en élevage de masse sur milieu haricot + Pangamine à celles obtenues sur un milieu favorable à la pyrale, la semoule de maïs en grain entier, nous constatons que ces valeurs sont égales sauf au niveau de la survie larvaire et de la fécondité qui sont plus faibles avec la Pangamine.

La levure de bière et les haricots dans la préparation apportent probablement les vitamines en quantité suffisante ainsi que les protéines et les sucres, et l'addition de VDFM n'est peut être pas alors nécessaire mais nous ne l'avons pas expérimenté personnellement. En effet, SALAMA (1970) n'ajoute pas au milieu haricot de supplément vitaminique et il obtient des résultats satisfaisants. L'addition de germe de blé et de caséine nous semble importante pour obtenir un bon rendement de l'élevage de masse, principalement au niveau de la survie et de la fécondité. Ceci est peut être lié aux besoins nutritionnels importants (BECK, 1950; BOTTGER, 1951), surtout en protéine chez les premiers stades.

De plus, la réduction de la quantité d'eau améliorerait peut être encore le milieu haricot. Le présent milieu contient de 72 à 81% d'eau tandis que celui de SALAMA (1970) utilisé dans l'élevage d'O.nubilalis n'en contient que 64% et celui de WEISMANN et SVATARAKOVA (1973) pour élever A.segetum 69%. Mais les résultats obtenus par ces différents auteurs sont difficilement comparables aux nôtres pour l'influence de la quantité d'eau ajoutée au milieu car la composition en autres ingrédients n'est pas exactement la même, ni le ravageur dans le second cas.

La Pangamine contient tous les éléments essentiels et pourrait améliorer surtout le poids nymphal et la fécondité même au niveau d'un élevage permanent.

Le remplacement du VDFM pour la Pangamine dans le milieu haricot donne des résultats aussi satisfaisants pour l'élevage individuel que pour l'élevage de masse de la pyrale. Ce milieu semble suffisamment nutritif, si l'on s'en réfère aux bons résultats obtenus avec le milieu, semoule du maïs en grain entier, testé comme le meilleur.

La facilité pour se procurer la plupart des ingrédients du milieu haricot et leur prix inférieur à celui d'autres composants ainsi que la simplicité de préparation sont les avantages de ce milieu; toutefois la Pangamine reste difficile à trouver en France et ceci peut constituer un obstacle.

d) Relations entre divers paramètres larvaires et nymphaux en fonction du sexe et du milieu d'alimentation.

Le taux de multiplication d'un insecte dépend essentiellement de la capacité de reproduction qui est elle-même liée à d'autres facteurs (environnement, nourriture etc...). Pour prévoir l'évolution d'une population, les données quantitatives sur les divers caractères biologiques peuvent être utilisées. Nous avons essayé d'établir des relations

entre divers paramètres larvaires et nymphaux d'O. nubilalis en fonction du sexe et du milieu d'alimentation.

Les résultats de cette étude en élevage individuel sur 5 milieux ayant déjà été exposés par ailleurs (GAHUKAR, 1976 a), nous ne retiendrons ici que les conclusions.

Nos observations confirment la prédominance de la qualité de l'alimentation. Nous avons remarqué entre divers paramètres larvaires nymphaux et imaginaux (durée de vie, poids, fécondité) des relations linéaires parfois significatives variables selon le sexe et le milieu d'alimentation. En particulier, dans le cas du milieu à base de germe de blé, parmi les données mathématiques portant sur les différents stades de l'insecte, on a trouvé que la fécondité (y) est fonction du poids nymphal (X_1) (par exemple : $y = -106,86 + 4,68\ X_1$). Ce type de relation peut avoir une importance dans la pratique car elle peut permettre de prévoir le devenir d'une population et détermine en conséquence de l'opportunité d'interventions pour limiter les populations.

B. INCIDENCE DE L'ALIMENTATION ARTIFICIELLE PROLONGEE SUR LES CARACTERES PHYSIOLOGIQUES

Les milieux artificiels permettent facilement l'élevage permanent des insectes. Les effets physiologiques de ces élevages doivent être étudiés pendant de nombreuses générations successives, car les facteurs externes (humidité, température, parasitisme, maladies) ainsi que les facteurs internes (consanguinité, sélection) peuvent jouer un rôle sur la biologie de l'insecte. De plus, la composition des milieux (milieux nutritionnellement insuffisants, dégradation des composants, stockage des ingrédients constitutifs des milieux etc.) agissent sur le métabolisme de l'insecte et parfois provoquent des effets

défavorables caractéristiques.

Nous avons montré dans la première partie de ce chapitre que parmi les 5 milieux artificiels utilisés, celui à base de germe de blé donne un meilleur résultat que le milieu contenant du haricot pendant 3 générations successives (GAHUKAR, 1976 c). Il nous est apparu nécessaire de poursuivre cet élevage sur ces 2 milieux pendant un nombre plus grand de générations (8 générations) afin de voir quels sont les critères biologiques les plus affectés.

a) Mode opératoire

Les détails concernant la souche, les milieux et les conditions expérimentales sont exposés dans le Chapitre I.

Les critères retenus sont : le développement larvaire et nymphal, le poids nymphal, la longévité des adultes et la fécondité des femelles.

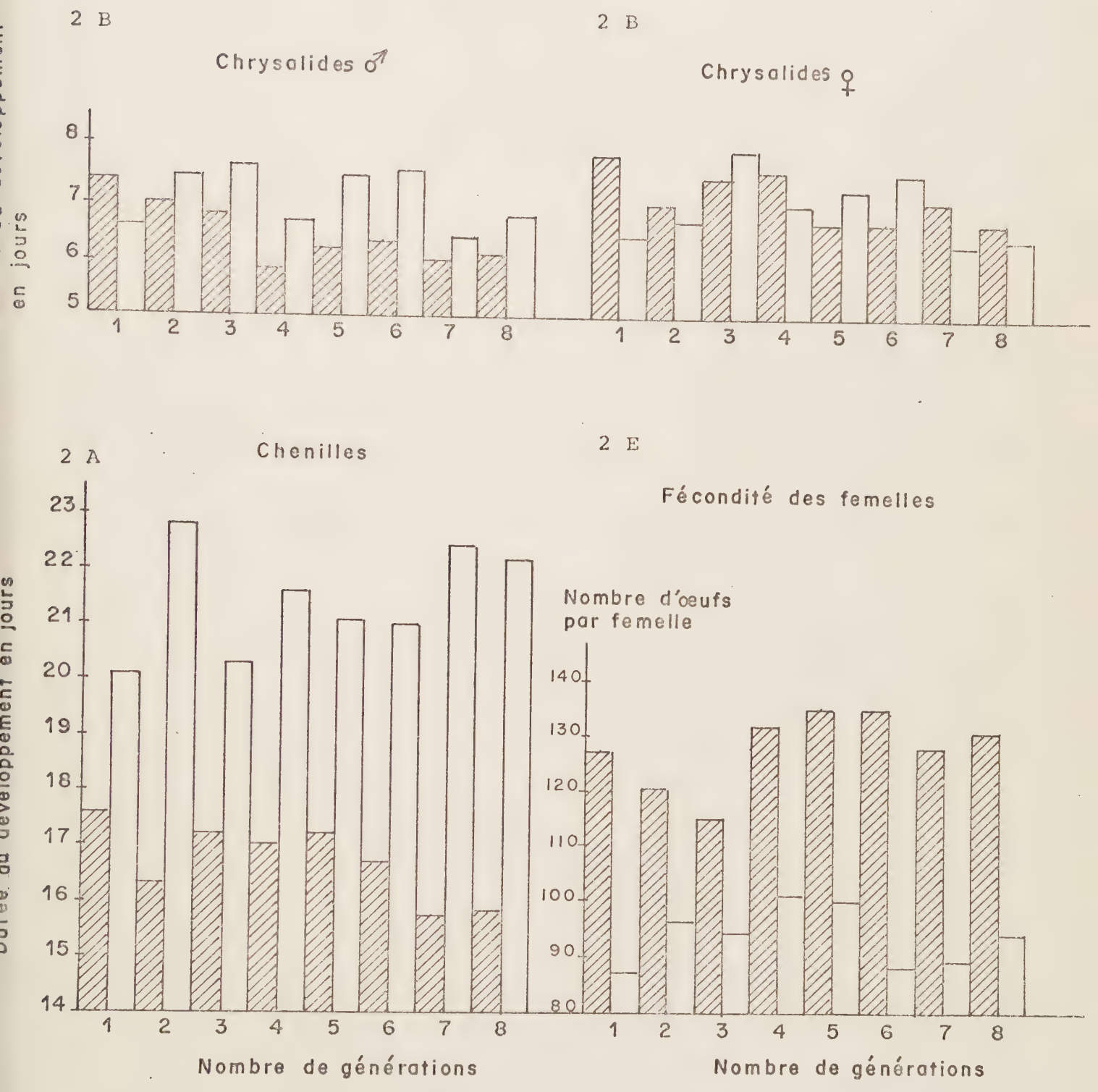
b) Résultats et Discussion

Les résultats sont consignés sous forme d'histogrammes (Fig.2) La comparaison des durées moyennes de développement larvaire sur milieu à base de haricot (21,43 jours) et sur milieu germe de blé (16,21 jours), montre que le premier milieu allonge la durée de développement tout au long de l'élevage. De plus, il est à noter que cette durée est un peu augmentée au cours des 2, 4, 7 et 8ème générations sur le milieu haricot, alors qu'elle diminue au cours des 2,7 et 8ème générations sur milieu germe de blé (Fig. 2 A).

En ce qui concerne la durée de développement des chrysalides mâles, on remarque que, sur le milieu haricot, elle est supérieure dans toutes les générations sauf à la première d'entre elles. Si l'on considère la moyenne des 8 générations elle est de l'ordre de 6,47 et 7,09 jours pour les milieux germe de blé et haricot respectivement ; mais il y a peu de variations sur l'ensemble des 8 générations.

Les chrysalides femelles se développent en 7,14 et 6,94 jours sur ces milieux. On ne note pas là non plus d'effet net des générations (Fig.2 B).

Fig. 2 Effets sur les caractères biologiques de la pyrale élevée sur 2 milieux artificiels pendant 8 générations.



Le poids nymphal est plus faible pour le sexe mâle que pour les femelles. On note une grande variation entre les générations. Il est toujours plus élevé sur milieu germe de blé (58,2 mg en moyenne) que sur milieu haricot (45,1 mg en moyenne). Il semble y avoir 2"pics" pour chaque milieu. En ce qui concerne le poids des chrysalides femelles, il est de l'ordre de 65,3 et 52,8 mg pour les milieux germe de blé et haricot respectivement (Fig. 2 C) mais il semble qu'il y ait chez les chrysalides femelles, quel que soit le milieu, une augmentation du poids avec les générations.

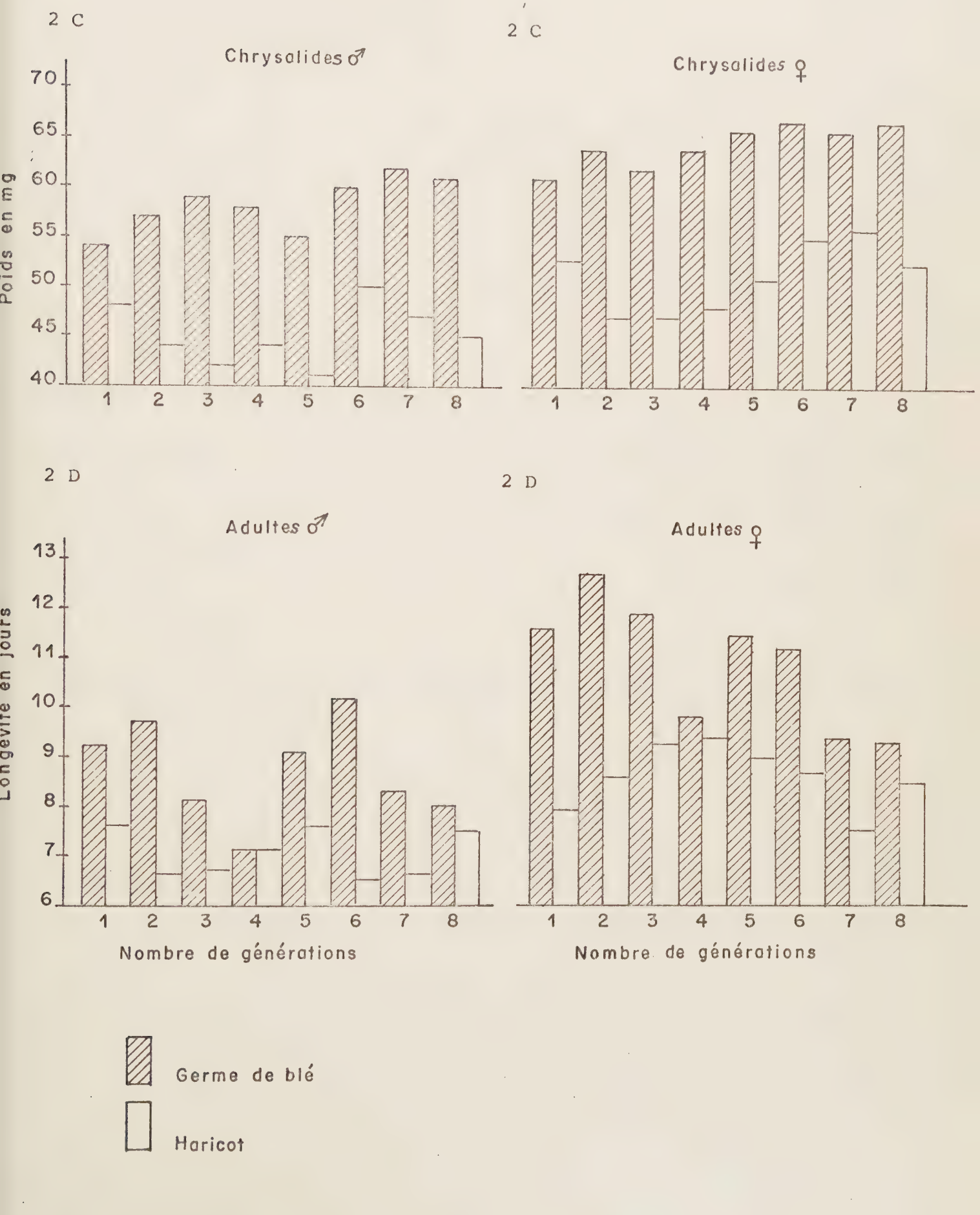
La longévité des imagos mâles diffère selon les générations. Ils vivent 8,71 et 7,02 jours en moyenne sur les milieux germe de blé et haricot respectivement (Fig. 2 D). Les femelles vivent plus longtemps que les mâles et montrent une longévité améliorée jusqu'à la 4ème génération sur le milieu haricot, mais ensuite on note un raccourcissement de la durée de leur vie. Le milieu germe de blé donne une longévité supérieure à 10 jours pendant les 1, 2, 3, 5, et 6ème générations. La longévité moyenne des femelles est de 10,91 et 8,60 jours respectivement pour les milieux germe de blé et haricot.

En ce qui concerne la fécondité, les moyennes pour les milieux germe de blé et haricot sont de 126,37 et 94,87 oeufs par femelle. La fécondité est améliorée par le milieu haricot jusqu'à la 4ème génération alors qu'elle diminue ensuite. Le milieu de germe de blé montre toujours une fécondité élevée avec un minimum de 103 oeufs pour la 3ème génération (Fig. 2 E.).

Si on compare les valeurs moyennes des divers critères biologiques étudiés sur 3 (GARUKAR, 1976 c) ou 8 générations sur les 2 milieux, on constate qu'elles ne présentent pas de différences significatives à l'exception de la fécondité qui est inférieure sur les 2 milieux pendant 8 générations.

Nos résultats sont en accord avec ceux de BECTON, GEORGE et BRINDLEY (1962) qui observent très peu d'effets sur la croissance et le développement des chenilles de la pyrale du maïs mais au contraire un effet sur la fécondité pendant un élevage de onze

Fig. 2 Effets sur les caractères biologiques de la pyrale élevée sur 2 milieux artificiels pendant 8 générations.



générations sur milieu oligidique. Cependant BECK et SMISSMAN (1960) montrent que la croissance et la reproduction diminuent au cours de 7 générations successives. Donc on peut dire que le nombre de générations n'a pas d'effets dans les conditions de nos expériences.

Les différences entre générations peuvent être dues à la réponse individuelle considérée comme une fluctuation normale dans une population d'insectes (BIRCH, 1953) ou bien dues à une consanguinité ou "inbreeding" (POITOUT, 1969 ; KAMANO, 1973). Les milieux ayant été changés tous les deux jours, le risque de dégradation a été limité et en conséquence ses effets éventuels sur la biologie.

L'élevage individuel sur 2 milieux pendant 8 générations ne semble pas modifier les divers caractères biologiques sauf la fécondité mais peut-être cet élevage permanent pourrait-il avoir une influence sur la virulence des insectes vis-à-vis des plantes-hôtes.

C. IMPORTANCE DE L'ORIGINE DES SOUCHES DE PYRALE DANS LA VIRULENCE VIS-A-VIS DU MAIS

L'élevage permanent au laboratoire et le type de milieu d'alimentation peuvent modifier les caractères physiologiques de l'insecte. Il peut y avoir affaiblissement de la souche ce qui est préjudiciable non seulement pour les expériences en laboratoire mais aussi pour tester la sensibilité des plantes aux attaques des ravageurs.

Nous avons étudié la virulence de 2 souches (laboratoire et nature) de la pyrale sur 2 lignées de maïs (CI 31A et WF9) à l'aide d'infestation artificielle dans les conditions naturelles (GAHUKAR et MOREAU, 1976).

Les résultats montrent qu'une souche de pyrale du maïs maintenue sur milieu artificiel à base de semoule de maïs en grain entier qui est l'un des milieux les plus favorables peut perdre sa virulence au bout d'une vingtaine de générations. Cette souche produit des dégâts réduits et a une mortalité identique sur les 2 lignées de maïs. Une telle souche ne peut donc être utilisée en infestation artificielle en vue de la sélection pour la résistance. En outre, ces essais confirment que la lignée CI 31 A a une résistance effective à la pyrale et peut donc intervenir comme géniteur pour la sélection du maïs pour ce critère.

D. CONCLUSIONS

Nous avons montré que les milieux artificiels sont un moyen simple et rentable pour élever la pyrale dans des conditions de lumière et de température telles que les chenilles n'entrent pas en diapause.

Après avoir étudié les caractères biologiques de la pyrale sur 5 milieux , nous concluons à l'intérêt d'un milieu à base de semoule de maïs en grain entier dont la fabrication est très simple et le prix de revient peu élevé. Pour augmenter le rendement de cet élevage, une technique a été mise au point, utilisable dans la production de masse.

Afin d'acquérir la maîtrise de la production au laboratoir et de comprendre l'évolution des populations dans la nature, une étude a porté sur les corrélations entre les divers paramètres larvaires et nymphaux en fonction des 5 milieux. Le milieu à base de germe de blé montre une corrélation importante entre le poids nymphal et la fécondité des femelles.

Le milieu haricot qui donnait un rendement faible, a été amélioré par un supplément "Pangamine" dont on a précisé l'intérêt en étudiant les effets nutritionnels propres à cet

adjuvant . sur les caractères biologiques en élevage individuel et son utilisation dans l'élevage de masse.

Enfin l'étude d'une alimentation prolongée en élevage permanent sur deux milieux nutritifs a permis de préciser les caractères physiologiques affectés par cette alimentation et de mettre en évidence des causes de la perte de vigueur induite par l'élevage sur milieu artificiel.

Ces éléments nous incitent à approfondir nos connaissances sur les intéractions entre tissus de maïs et milieux d'alimentation et à observer leur incidence sur les différentes souches de la pyrale.

CHAPITRE III

UTILISATION DE L'ALIMENTATION ARTIFICIELLE DANS L'ETUDE DE LA RESISTANCE DU MAIS A LA PYRALE.

De nombreux travaux ont été effectués dans les conditions naturelles pour tester la sensibilité des lignées de maïs à l'attaque de la pyrale. Des auteurs américains ont suggéré d'associer à la notation des dégâts établie dans la nature le dosage du facteur de résistance du maïs, le Dimboa, au laboratoire, durant la première génération de la pyrale. C'est pourquoi nous abordons le problème de la résistance au laboratoire sous 2 aspects différents :

- par le dosage du Dimboa
- par l'addition de cette substance ou de la poudre des feuilles de maïs à plusieurs milieux.

L'interprétation des résultats porte sur les caractères biologiques et sur le comportement alimentaire des chenilles.

A) INFLUENCE SUR LA BIOLOGIE DE LA PYRALE D'UNE COMBINAISON ENTRE MILIEUX ARTIFICIELS ET TISSUS DU MAÏS A DIFFERENTS STADES PHENOLOGIQUES.

L'examen de la bibliographie nous incite à penser que l'interaction des différents types de facteurs responsables de la limitation des populations de ce ravageur n'a pas suffisamment attiré l'attention. Les rares travaux sur le Dimboa concernent uniquement la mortalité, la durée du développement larvaire et le taux de nymphose en fonction de sa concentration en milieu artificiel (KLUN, TIPTON et BRINDLEY, 1967). Ces auteurs n'ont pas approfondi cette étude en relation avec la plante-hôte et d'autres caractères importants tels que la fécondité.

Dans nos essais précédemment décrits, nous avons constaté que parmi 5 milieux artificiels étudiés pour leurs effets sur les caractères biologiques d'O.nubilalis, celui à base de germe de blé donne les meilleurs résultats alors que le milieu haricot est plutôt néfaste à l'insecte. Ces constatations nous ont amené à étudier et comparer ces 2 milieux contenant les tissus de maïs des 2 lignées précitées sur différents biotypes de la pyrale. Ceci afin d'évaluer le rôle de l'alimentation dans l'antibiosis.

Mode opératoire

1. matériel végétal

Deux lignées de maïs, CI 31A et WF9, respectivement résistante et sensible sont testées. Nous avons utilisé 3 stades phénologiques à savoir :

-cornet jeune - hauteur 15-17 cm.
gaine de la troisième feuille visible

-cornet d'âge moyen - hauteur 30-35 cm
gaine de la cinquième feuille visible

-cornet âgé - hauteur 50-60 cm.
gaine de la sixième feuille visible.

Ces stades sont identiques à ceux choisis par BATCHELDER (1946), REED, BRINDLEY et SHOWERS (1972) et MORRILL et GREENE (1974) sur des plantes prélevées dans la nature. Nous n'avons pas retenu les stades les plus âgés (par exemple, floraison, dégagement de la panicule etc...), car la plante perd alors une partie de sa résistance, quelle que soit la lignée.

a) Préparation des échantillons

Lorsque les plantes ont atteint le stade déterminé, les feuilles et les cornets de maïs sont pesés aussitôt après le prélèvement, puis placés dans un sac en polyéthylène et stockés dans un congélateur (-20°C). Puis les échantillons sont lyophilisés sous vide sans avoir été dégelés, pesés à nouveau, mis en poudre au broyeur et conservés au congélateur dans des bocaux hermétiques. Au fur et à mesure des besoins, les poudres sont mélangées aux milieux.

Nous avons utilisé en mélange feuilles et cornets que nous appellerons "feuilles" dans le texte par commodité de langage. Plusieurs auteurs, notamment, ANGLADE et MOLOT, 1967 b; REED, BRINDLEY et SHOWERS, 1972; SULLIVAN, GRACEN et ORTEGA, 1974; RUSSELL et coll. 1975) utilisent seulement les cornets, soit pour déterminer le niveau de sensibilité des lignées, soit pour élever les chenilles au laboratoire.

b) Extraction et purification du Dimboa

Pour l'isolement et la purification des facteurs de résistance dans le maïs, plusieurs méthodes peuvent être employées (SMISSMAN, LAPIDUS et BECK, 1957; BECK, 1957 b; BECK et STAUFFER, 1957; WAHLROOS et VIRTANEN, 1959 a, b; BECK et SMISSMAN, 1960; KLUN et BRINDLEY, 1966; KLUN, TIPTON et BRINDLEY, 1967; MOLOT et ANGLADE, 1968). Nous avons retenu, après y avoir apporté quelques modifications, la méthode de WAHLROOS et VIRTANEN (1959 a,b) qui nous apparaît à la fois facile et satisfaisante.

La lignée CI 31A est cultivée en serre pendant 2 semaines. Les plantules, d'une hauteur de 10 à 15 cm, sont coupées en petits tronçons, qui sont plongés immédiatement dans l'éther éthylique et gardés en chambre froide pendant 24 heures. Le liquide clair surnageant est séparé dans une ampoule de décantation et évaporé soit dans un dessicateur, soit à l'aide de sulfate de sodium. L'extrait sec est repris dans l'éther filtré sur de la laine de verre et évaporé sous azote à faible volume. Le précipité est recristallisé plusieurs fois à l'aide de méthanol (95%) puis d'éther et enfin avec un mélange d'éther-cyclohexane (1 : 1 v/v). Par cette opération on obtient des cristaux rosâtres. Ces cristaux sont dissous dans l'éthanol (95%), la solution résultante est évaporée sous azote en présence d'un bain de sable à 40°C et ensuite reprise dans l'eau. Les mesures sont faites avec un spectromètre Beckman.

Le spectre du Dimboa montre 2 pics (spectres UV) à 260 et 287 mμ et 2 minimums à 235 et 282 mμ (Fig.3). Ces chiffres sont identiques à ceux donnés par les auteurs cités plus haut.

La technique utilisée conduit à un haut degré de purification. La substance obtenue sert à préparer une courbe d'étalonnage (Fig. 4) pour nos dosages ultérieurs.

c) Dosage du Dimboa

Pour effectuer les dosages de Dimboa simultanément dans les cornets et les feuilles, nous avons utilisé du matériel frais plutôt que réduit en poudre, car des essais préliminaires ont montré qu'il n'y a aucune différence de teneur entre les tissus secs et frais. Toutefois la teneur diminue au cours d'un stockage de longue durée (plusieurs mois) des échantillons en poudre. L'analyse des cornets seuls et de l'ensemble feuilles et cornets est nécessaire pour la comparer à celles des cornets seuls effectuées par de précédents auteurs.

Plusieurs chercheurs ont testé diverses méthodes pour estimer la concentration en Dimboa dans les différents tissus du maïs. Les techniques les plus utilisées sont : la dilution isotopique (KLUN et BRINDLEY, 1966), la spectrophotofluorométrie (BOWMAN, BEROZA et KLUN, 1968), la colorimétrie (BECK, KASKE et SMISSMAN, 1957; HAMILTON, 1964), et la chromatographie en phase gazeuse (TANG et coll. 1975). Ces procédés précis donnent une haute sensibilité et une excellente séparation du Dimboa, mais sont longs et complexes. LONG, DUNN et ROUTLEY (1974) décrivent une technique colorimétrique plus rapide. Nous employons celle décrite par SULLIVAN, GRACEN et ORTEGA (1974) qui nous semble rapide et aussi efficace que les autres.

Les organes du maïs au stade déterminé sont prélevés et coupés en petits tronçons (2-4 mm). Les échantillons sont pesés (2-3 g chacun), mis immédiatement dans les erlenmeyers contenant de l'éther éthylique et gardés en chambre froide pendant 24 heures. Les extraits sont rincés à l'éther éthylique

---

Les travaux biochimiques ont été effectués à la Station de physiopathologie végétale INRA, DIJON.

Fig. 3 Courbe d'absorption du Dimboa dans l'UV

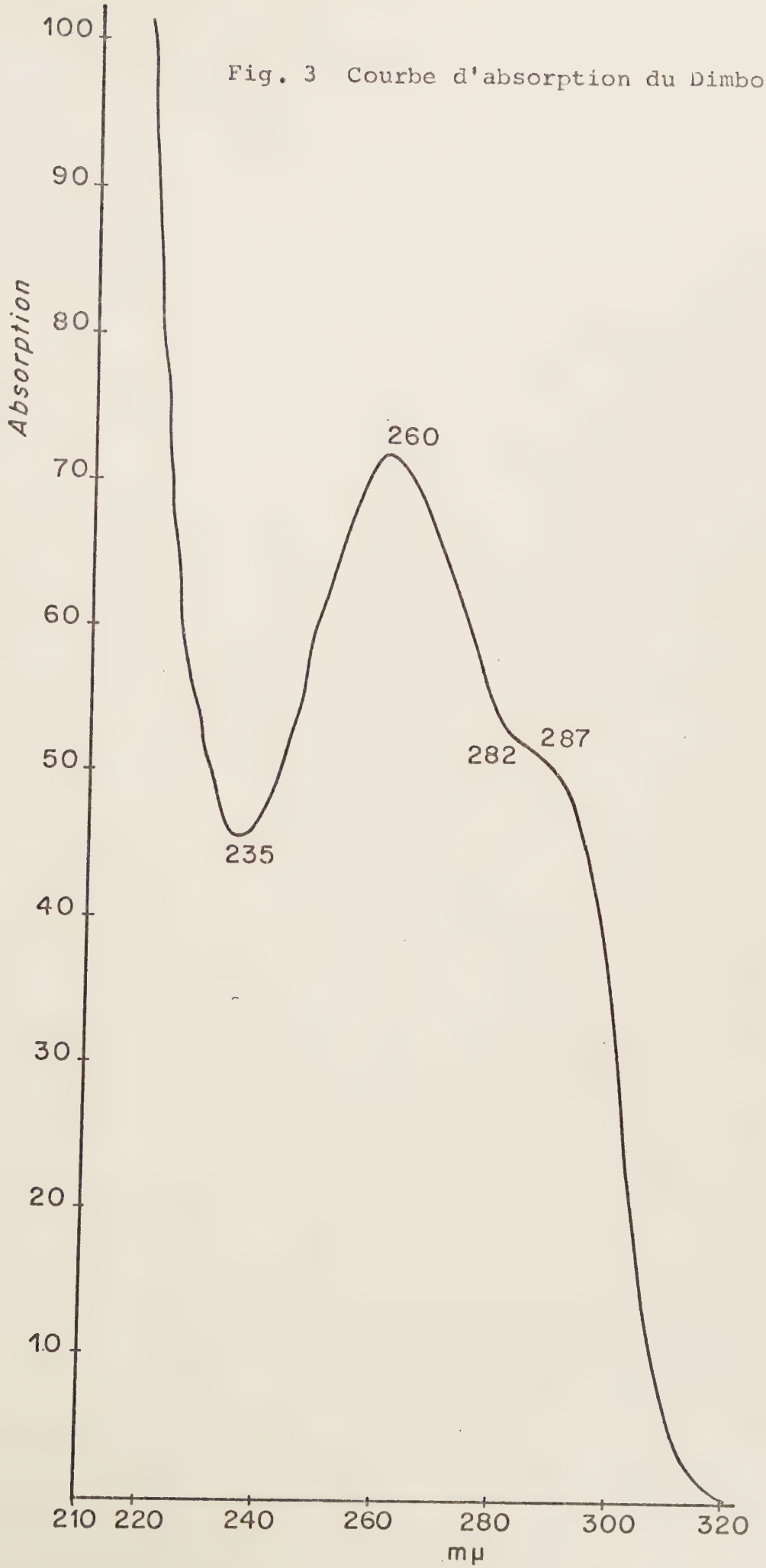
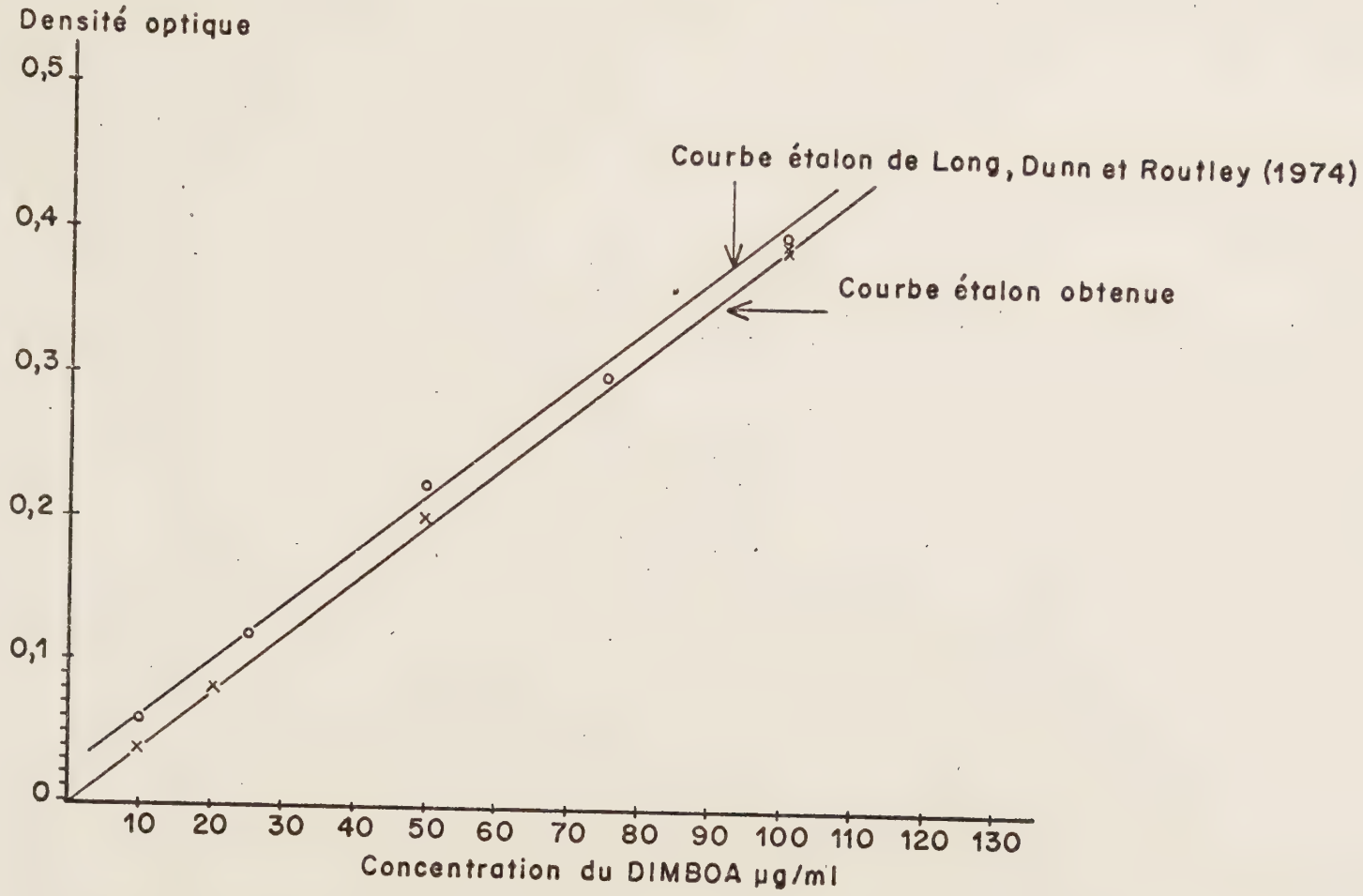


Fig. 4 Courbe étalon du Dimboa à 590 nm.



2 ou 3 fois, séchés sous azote en présence d'un bain de sable à 40°C. Le résidu est repris dans un ml de méthanol(95%) et déposé sur des plaques chromatographiques de gel de silice en couche mince (250μ), contenant l'indicateur ultraviolet. Une goutte de Dimboa purifié est déposée sur chaque plaque comme témoin afin d'éviter toute confusion avec d'autres facteurs de résistance, également présents dans les extraits, qui montrent un spectre d'absorption voisin. Les plaques sont développées dans une cuve contenant comme solvant : un mélange d'éther éthylique saturé en eau distillée (99 volumes) et d'acide formique (1 volume). Ces plaques exposées à la lumière UV montrent au niveau du Dimboa une bande violacée à une Pf de 0,52. Cette bande est reprise par l'éther éthylique. Après une agitation vigoureuse, les particules de silice précipitent. L'extrait est récupéré dans une fiole. Cette opération est répétée 3 fois pour s'assurer qu'il n'y a pas de perte de substance. Tout l'extrait est filtré sur laine de verre, séché dans un tube à essai sous azote en utilisant un bain de sable à 40°C, puis repris par 9 ml d'une solution contenant de l'éthanol à 95% et de l'Hcl o,1 N (volume par volume) plus 1 ml de perchlorure de fer ($FeCL_3$) en solution à 0, 1 M. Lorsqu'on agite vigoureusement ce mélange, une coloration violette apparaît par l'action de la solution sur le résidu. L'absorption est observée immédiatement (en raison de l'instabilité de la coloration) à la longueur d'onde de 590 nm à l'aide d'un spectrophotomètre Coleman . La densité optique est alors utilisée pour doser le Dimboa par comparaison avec la courbe d'étalonnage.

2. Milieux artificiels

Deux milieux, à base de germe de blé et de haricot sont utilisés. Leur composition et leur fabrication sont précisées dans le chapitre II.

La poudre de "feuilles" lyophilisées est mélangée à raison de 12% du poids du milieu selon les concentrations déterminées après résultats du dosage.

3. Elevage de l'insecte

Trois souches sont utilisées : 1'une provenant d'un élevage permanent au laboratoire et 2 biotypes d'origine géographique différente (Colmar et Pierrelatte).

L'élevage individuel est conduit comme précédemment et les critères biologiques retenus sont les mêmes que ceux définis pour la comparaison des milieux (Chapitre II).

Résultats

1) Dosage du Dimboa

La teneur en Dimboa diffère en fonction du matériel génétique, au stade végétatif et des organes prélevés (Fig.5).

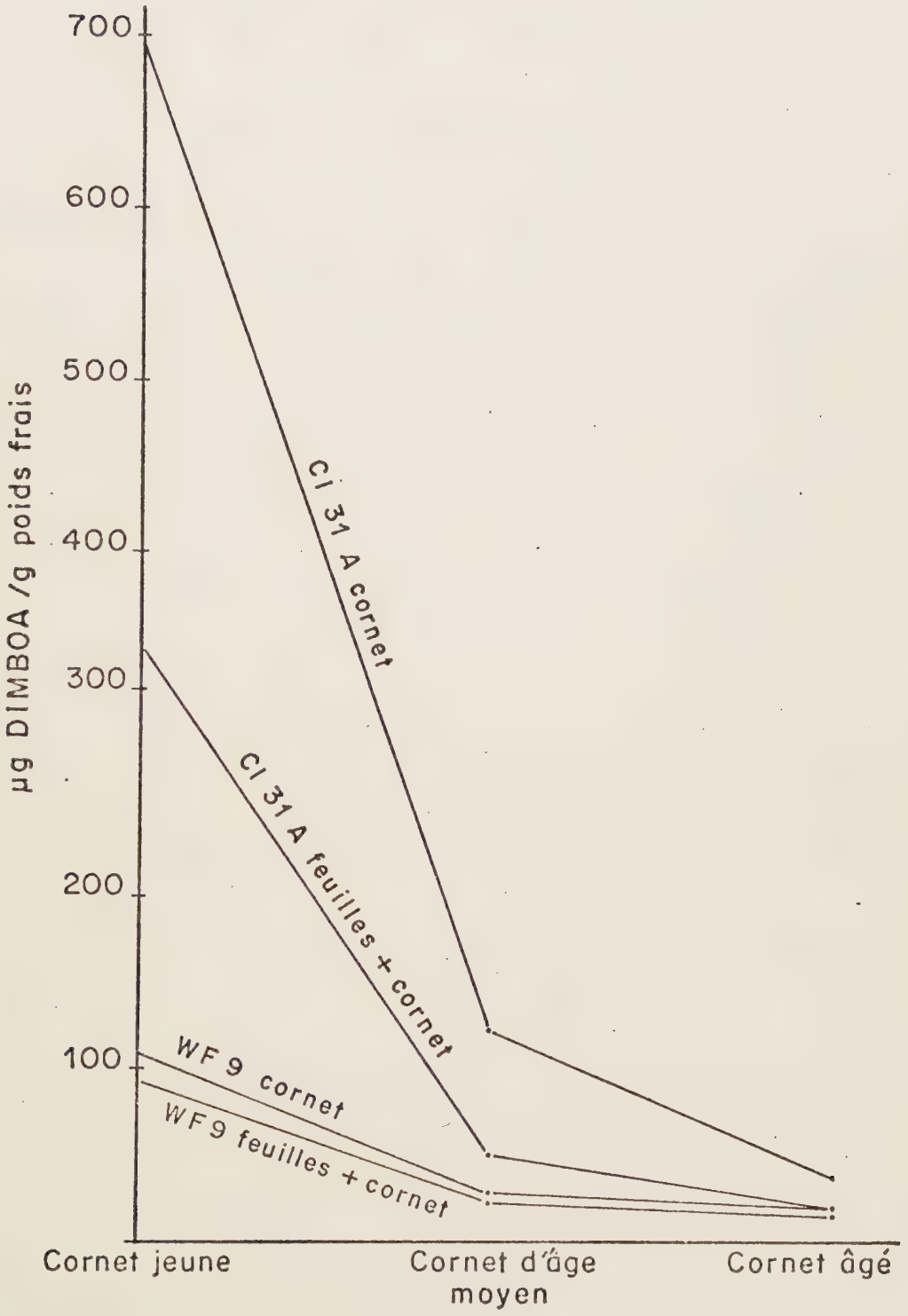
La lignée résistante CI 31A est toujours plus riche en Dimboa que la lignée WF9, connue pour être sensible. D'autre part, quelle que soit la lignée, la concentration est plus forte du début du cycle végétatif du maïs et cette teneur diminue au fur et à mesure de la croissance. On remarque que cette diminution est plus importante du stade plantule au stade cornet d'âge moyen. En outre, le cornet contient toujours plus de Dimboa que les feuilles.

Après dosage, les teneurs en Dimboa dans les organes prélevés et selon la lignée, contenues dans les poudres qui sont ajoutées aux 2 milieux, sont les suivantes : (exprimées en mg/100 g poids frais).

stade / lignée	cornet jeune	cornet d'âge moyen	cornet âgé
WF 9	11,16	2,88	1,98
CI 31A	41,58	6,10	2,34

Ces teneurs donnent une concentration en Dimboa proche de celles trouvées dans les "feuilles" du maïs.

Fig. 5 Teneur en Dimboa dans 2 lignées de maïs à 3 stades phénologiques.



Nos résultats vont dans le même sens que ceux de la plupart des auteurs : la lignée CI 31 A montre une grande résistance grâce à une forte concentration en Dimboa. Les teneurs en Dimboa que nous avons trouvées sont légèrement différentes de celles des auteurs ayant dosé cette substance sur ces 2 mêmes lignées. Cette différence peut être due aux facteurs suivants : le stade phénologique et l'état physiologique des organes prélevés.

Dans la bibliographie, on remarque que les cornets seuls sont analysés, en relation avec la résistance à la première génération de la pyrale : soit par infestation artificielle sur la plante dans les conditions naturelles (BURDIT et HOLDAWAY, 1959 ; SCOTT et GUTHRIE, 1966), soit au laboratoire par l'élevage sur tissus coupés (REED, BRINDLEY et SHOWERS, 1972). L'analyse des cornets et des feuilles ensemble donne des résultats qui se rapprochent de ceux sur les cornets seuls. Le dosage du Dimboa dans les "feuilles" peut donc être considéré comme un critère non seulement pour l'étude de la première génération mais aussi pour la seconde. Ceci permet d'évaluer les lignées plus résistantes aux 2 générations à la fois en combinaison avec l'examen des dégâts.

2) Critères biologiques

Les résultats obtenus sur les 2 milieux retenus auxquels on a ajouté la poudre de feuille traduisent des différences considérables au niveau des caractères biologiques d'*O. nubilalis* en fonction :

- du stade phénologique de la plante et de la lignée ;
- des milieux d'élevage ;
- des biotypes de l'insecte.

Les résultats sont exposés et discutés en prenant comme référence les critères biologiques.

a) Mortalité et durée du développement des chenilles.

La souche de la pyrale élevée au laboratoire a une mortalit supérieure (à 2 exceptions près : stade cornet âgé) aux autres biotypes (Tableau 7). Le milieu à base de germe de blé additionné de poudre de maïs donne un résultat supérieur au milieu haricot.

TABLEAU 7

EFFETS DES TISSUS DU MAIS AJOUTES AUX MILIEUX SUR LA MORTALITE ET LE DEVELOPPEMENT DES CHENILLES ET DES CHRYSALIDES, ET SUR LE POIDS NYMPHAL.

Lignée	Milieu	Souche	Chenille		Chrysalide				
			Mortalité (%)	Durée de développement (jours)	Mortalité (%)	Durée de développement (jours)		Poids (mg)	
						♂	♀	♂	♀
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
STADE DU MAIS = CORNET JEUNE									
		Laboratoire	71,0	30,60	3,44	7,84	8,70	48,8	59,4
	Haricot	Pierrelatte	55,5	31,60	4,50	7,74	8,75	63,6	70,4
		Colmar	49,0	46,80	1,96	8,00	8,14	66,2	73,7
WF9		Laboratoire	48,5	26,41	0,97	5,95	6,68	55,1	63,3
	Germe de Blé	Pierrelatte	26,0	20,42	6,75	5,88	6,57	67,6	79,3
		Colmar	28,5	27,87	8,39	6,04	7,11	65,3	77,4
		Laboratoire	63,8	33,16	3,85	7,80	7,92	46,6	54,7
	Haricot	Pierrelatte	51,5	44,23	8,24	8,87	10,00	55,5	65,0
		Colmar	58,0	52,86	2,38	9,36	10,15	60,5	72,5
CI 31 A		Laboratoire	53,5	30,68	4,30	6,80	7,17	47,3	61,8
	Germe de Blé	Pierrelatte	31,0	25,21	5,07	7,30	7,68	59,5	71,8
		Colmar	38,0	36,05	10,48	7,24	8,18	62,9	69,5

(Suite)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
STADE DU MAIS = CORNET d'AGE MOYEN									
		Laboratoire	32,5	23,96	13,33	7,00	8,07	53,8	59,8
	Haricot	Pierrelatte	26,5	23,82	4,76	7,80	8,12	70,2	78,5
		Colmar	25,5	28,11	6,04	7,23	6,82	67,3	85,5
WF9		Laboratoire	32,0	22,00	15,44	6,43	7,16	56,0	71,0
	Germe de Blé	Pierrelatte	11,0	20,69	6,74	6,74	6,45	64,7	73,3
		Colmar	25,5	24,13	4,02	5,86	6,78	69,4	82,6
		Laboratoire	38,0	33,00	9,51	8,00	9,85	50,9	59,1
	Haricot	Pierrelatte	36,0	33,73	2,38	8,00	8,05	64,8	75,6
		Colmar	27,5	32,72	3,44	8,40	7,45	68,6	81,5
CI 31 A		Laboratoire	37,5	26,03	15,20	7,00	9,00	44,9	56,4
	Germe de Blé	Pierrelatte	20,0	23,50	3,75	6,55	7,77	58,3	70,7
		Colmar	20,5	24,59	6,29	7,35	6,79	66,8	81,5
STADE DU MAIS = CORNET AGE									
		Laboratoire	9,5	16,54	1,66	6,65	5,59	58,1	67,8
	Haricot	Pierrelatte	18,0	29,58	4,76	6,30	7,09	63,7	78,0
		Colmar	17,5	22,40	3,63	7,82	7,56	77,8	58,2
WF9		Laboratoire	12,5	17,29	14,19	6,20	5,21	53,3	64,7
	Germe de Blé	Pierrelatte	14,5	18,57	2,92	7,52	6,66	50,7	58,3
		Colmar	16,5	20,38	7,69	7,21	7,20	58,7	67,0
		Laboratoire	38,5	17,47	11,11	6,83	7,65	47,2	59,6
	Haricot	Pierrelatte	24,5	25,04	5,59	6,09	6,35	65,3	77,2
		Colmar	31,0	22,92	2,37	7,92	7,90	76,6	88,3
CI 31 A		Laboratoire	23,5	17,09	9,76	6,81	7,00	54,8	65,1
	Germe de Blé	Pierrelatte	19,5	18,83	10,69	6,09	6,47	51,7	66,5
		Colmar	15,5	21,40	4,35	7,21	6,48	63,3	69,7

Ces effets sont plus marqués au stade jeune de la plante. Le facteur lignée semble également intervenir. En effet, pour la souche laboratoire, la mortalité est plus élevée sur les milieux à base de lignée résistante au stade cornet âgé. Pour la souche Pierrelatte, il s'agit du stade cornet d'âge moyen, tandis que pour la souche Colmar, la mortalité est plus grande sur lignée résistante au stade cornet jeune et cornet âgé. Quelque soit le stade phénologique de la plante, le milieu d'alimentation et la souche de pyrale, le matériel végétal a une influence sur la mortalité des chenilles. On observe cette mortalité tout au long de l'élevage ; elle est toutefois un peu plus forte pendant les premiers jours pour les jeunes chenilles.

Les chenilles provenant du biotype Colmar se développent plus lentement à l'inverse de celles du laboratoire. On note que les feuilles lyophilisées ajoutées au milieu à base de haricot augmentent la durée de vie larvaire. Cette durée diminue par contre avec le vieillissement de la plante. L'effet de la lignée résistante se manifeste par un allongement du développement larvaire pour les 3 souches au niveau des stades cornets jeune et âge moyen (Tableau 7).

b) Mortalité, durée du développement et poids des chrysalides.

Il n'y a pas de différences nettes dans la mortalité des chrysalides des 3 souches, même si elle est plus élevée aux stades : cornet d'âge moyen et cornet âgé pour la souche laboratoire (Tableau 7). On note que les chrysalides de sexe mâle se développent moins vite que celles des femelles.

Aucun des facteurs considérés ici n'influe sur la durée de vie nymphale ; on constate cependant que les chrysalides mâles provenant des chenilles alimentées sur milieu haricot contenant des feuilles d'une lignée sensible au stade cornet âgé montrent un léger ralentissement de ce développement.

Les chrysalides mâles pèsent toujours moins que les chrysalides femelles. Si l'on considère les souches, celle du laboratoire donne des chrysalides toujours moins lourdes. Le milieu d'alimentation n'a pas un rôle important sur le poids, cependant,

celui à base de haricot additionné des feuilles au stade cornet âgé donne des chrysalides un peu plus lourdes. La lignée résistante donne des poids nettement plus faibles pour les chrysalides des 2 sexes au stade cornet jeune, et pour les chrysalides mâles au stade cornet d'âge moyen. D'une façon générale, une relation existe entre le poids nymphal, le stade phénologique et la lignée du maïs.

c) Emergence, longévité, taille et sex-ratio des adultes.

Des pourcentages élevés d'adultes normaux sont obtenus lorsque les chenilles sont nourries sur milieu germe de blé contenant les feuilles d'une plante âgée de lignée WF 9 (Tableau 8).

Nous voyons que dans la plupart des cas, les femelles vivent plus longtemps que les mâles notamment, celles provenant des chenilles alimentées sur milieu haricot additionné du maïs au stade cornet âgé. Ni la composition des milieux, ni le stade du maïs, ni la lignée ne montrent un effet défavorable sur la survie des papillons.

On constate d'après les mesures d'envergure des ailes que les femelles sont toujours plus grandes. Le biotype Colmar donne de grands adultes alors que ceux du laboratoire sont petits et ceux de Pierrelatte intermédiaires. Le milieu à base de germe de blé améliore, dans une moindre mesure, la taille des papillons.

Le sex-ratio n'est modifié par aucun facteur (Tableau 8).

d) Fécondité des femelles, viabilité et durée d'incubation des oeufs.

On constate que le nombre d'oeufs pondus par les femelles provenant de la souche du laboratoire reste toujours inférieur à celui des autres souches (Tableau 9). La fécondité varie avec la résistance des lignées et la croissance du maïs. Il est intéressant de remarquer que le milieu germe de blé donne une meilleure fécondité quelle que soit la lignée, sauf dans le cas des cornets jeunes sur la lignée CI 31 A où le résultat est inverse.

En dehors du stade phénologique, aucune combinaison n'affecte la viabilité des oeufs, bien qu'il semble que la souche

TABLEAU 8

EFFETS DES TISSUS DU MAIS AJOUTES AUX MILIEUX SUR L'EMERGENCE, LA LONGEVITE, LA TAILLE ET LA REX-RATIO DES ADULTES

Lignée	Milieu	Souche	Adultes normaux (%)	Longévité (jours) ♂	Longévité (jours) ♀	Envergure des ailes (mm) ♂	Envergure des ailes (mm) ♀	Sex-ratio (Nombre de femelles/100 mâles)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
			STADE DU MAIS = CORNET JEUNE					
		Laboratoire	83,91	8,00	11,73	23,1	25,4	85
	Haricot	Pierrelatte	70,56	8,93	11,53	24,0	26,3	77
		Colmar	84,00	12,0	15,53	25,9	27,7	74
		Laboratoire	92,15	6,71	7,21	23,1	24,7	69
WF9	Germe de Blé	Pierrelatte	97,30	9,93	9,06	24,9	26,5	82
		Colmar	92,36	10,13	11,80	26,0	27,7	88
		Laboratoire	76,00	8,00	7,40	23,6	25,3	78
	Harricot	Pierrelatte	88,76	9,69	7,36	23,9	25,7	63
		Colmar	85,36	9,37	11,47	24,5	26,8	68
		Laboratoire	87,64	7,46	9,73	23,1	24,7	74
CI 31 A	Germe de Blé	Pierrelatte	87,02	7,73	12,56	25,0	27,1	93
		Colmar	83,78	8,73	10,81	25,5	26,9	64

(Suite)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
			STADE DU MAIS = CORNET d'AGE MOYEN					
		Laboratoire	90,43	5,86	8,46	22,2	23,8	85
	Haricot	Pierrelatte	93,97	8,40	9,73	24,5	26,6	94
		Colmar	95,80	9,30	10,53	25,5	27,0	94
WF9		Laboratoire	94,01	6,40	8,96	22,8	24,6	85
	Germe de Blé	Pierrelatte	96,42	10,31	10,31	23,9	26,7	93
		Colmar	92,85	13,93	10,33	26,6	27,9	84
		Laboratoire	72,11	4,96	6,46	22,3	23,2	76
	Haricot	Pierrelatte	94,30	9,53	10,57	24,5	26,6	89
		Colmar	93,52	9,06	10,26	25,7	27,9	89
CI 31 A		Laboratoire	83,01	5,50	8,50	22,7	23,9	82
	Germe de Blé	Pierrelatte	93,50	7,80	8,27	23,9	26,3	83
		Colmar	92,61	10,50	9,94	24,9	27,9	69
			STADE DU MAIS = CORNET AGE					
		Laboratoire	94,94	7,58	9,69	22,4	24,3	72
	Haricot	Pierrelatte	97,45	8,76	8,40	24,9	26,5	75
		Colmar	96,85	11,80	13,26	25,7	28,2	79
WF9		Laboratoire	89,13	7,33	10,33	23,5	25,2	100
	Germe de Blé	Pierrelatte	95,18	9,00	9,40	25,6	28,1	142
		Colmar	91,07	10,07	9,73	26,0	28,7	99
		Laboratoire	85,29	8,12	9,17	22,8	24,1	68
	Haricot	Pierrelatte	96,05	8,40	10,00	23,5	26,5	57
		Colmar	95,75	13,30	13,15	25,7	27,4	91
CI 31 A		Laboratoire	93,69	8,46	9,50	22,4	23,6	74
	Germe de Blé	Pierrelatte	94,37	11,00	11,07	25,2	28,3	94
		Colmar	94,69	9,71	9,00	25,9	28,1	93

du laboratoire donne des oeufs moins fertiles (Tableau 9).

Le taux d'éclosion et la durée d'incubation des oeufs des 3 souches ne sont pas modifiés en fonction des combinaisons ; les pontes des pyrales de Colmar et de Pierrelatte ont toutefois une tendance à se développer plus lentement.

e) Durée totale du développement.

Si l'on considère le temps nécessaire pour accomplir une génération, les souches se classent en ordre décroissant : Colmar met le plus longtemps pour se développer, puis Pierrelatte et enfin Laboratoire. La lignée et le stade de croissance ont des effets nets, comme on peut le voir sur les graphiques (Fig. 6A, 6B).

L'intéraction entre les divers facteurs étudiés est consignée dans le Tableau 10.

Discussion

a) Mortalité et durée du développement des chenilles

La souche Laboratoire montre toujours une survie larvaire inférieure, même lorsque les feuilles de WF 9 sont ajoutées aux milieux. Ceci correspond à une perte de vigueur et à l'affaiblissement au cours de l'élevage permanent sur milieu artificiel à base de semoule de maïs que nous avons mis en évidence précédemment (GAHUKAR et MOREAU, 1976), dans les conditions naturelles à l'aide d'infestations artificielles qui confirment elles aussi cette perte de vigueur. La mortalité des chenilles des souches : Pierrelatte et Colmar, peut être due :

1) au changement d'alimentation

ou 2) à une non adaptation des chenilles aux milieux.

Ces aspects sont discutés par GORDON (1972) chez un certain nombre d'insectes. La mortalité un peu plus élevée de la souche Pierrelatte par rapport à celle de Colmar peut être expliquée par un mauvais état sanitaire au moment de la récolte des chenilles plutôt que par des caractères génétiques de cette souche.

TABLEAU 9

EFFETS DES TISSUS DU MAIS AJOUTES AUX MILIEUX SUR LA FECONDITE DES FEMELLES , LA VIABILITE ET L'INCUBATION DES OEUFS

Lignée	Milieu	Souche	Fécondité des femelles (Nombre d'oeufs par femelle)			Viabilité (%)	Taux d'éclosion (%)	Durée d'incubation (jours)
			Moyenne	Minimum	Maximum			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
			STADE DU MAIS = CORNET JEUNE					
		Laboratoire	109	86	131	73,57	72,04	3,62
	Haricot	Pierrelatte	187	170	269	93,66	90,95	3,60
		Colmar	198	71	328	94,97	88,97	3,68
WF9		Laboratoire	133	22	259	90,46	86,22	3,48
	Germe de Blé	Pierrelatte	265	135	405	94,11	77,25	3,83
		Colmar	234	89	455	96,14	91,86	3,44
		Laboratoire	95	17	110	73,57	72,04	3,62
	Haricot	Pierrelatte	190	25	341	95,52	76,72	3,36
		Colmar	174	104	248	74,21	97,28	3,93
CI 31 A		Laboratoire	96	14	123	92,76	84,64	3,38
	Germe de Blé	Pierrelatte	126	69	255	93,03	78,26	4,13
		Colmar	124	40	301	92,43	91,98	3,88

(suite)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
		STADE DU MAIS = CORNET d'AGE MOYEN						
		Laboratoire	214	95	316	85,54	79,77	3,15
	Haricot	Pierrelatte	242	114	385	93,17	85,88	3,18
		Colmar	286	142	426	100,00	89,36	3,13
WF9		Laboratoire	148	20	210	80,41	79,57	3,50
	Germe de Blé	Pierrelatte	301	80	490	97,28	97,70	3,90
		Colmar	214	100	420	100,00	100,00	3,66
		Laboratoire	70	30	163	68,23	62,82	3,28
	Haricot	Pierrelatte	245	66	402	95,59	86,13	3,42
		Colmar	212	125	588	100,00	92,04	3,28
CI 31 A		Laboratoire	101	19	200	60,33	50,83	3,75
	Germe de Blé	Pierrelatte	244	91	407	95,55	70,16	4,08
		Colmar	151	46	490	96,94	100,00	4,16
		STADE DU MAIS = CORNET AGE						
		Laboratoire	224	143	393	91,95	87,64	3,24
	Haricot	Pierrelatte	342	117	620	99,00	100,00	3,85
		Colmar	425	315	635	100,00	100,00	3,79
WF9		Laboratoire	161	29	261	95,25	79,12	3,21
	Germe de Blé	Pierrelatte	283	89	463	97,56	100,00	3,89
		Colmar	237	128	496	99,48	100,00	4,07
		Laboratoire	218	32	343	59,54	63,02	3,13
	Haricot	Pierrelatte	356	191	513	100,00	100,00	4,04
CI 31 A		Colmar	366	181	570	100,00	96,71	3,53
		Laboratoire	155	45	342	89,21	78,90	3,74
	Germe de Blé	Pierrelatte	226	74	480	99,08	100,00	4,19
		Colmar	331	106	392	98,53	100,00	4,18

TABLEAU 10

INTERACTION DES VARIABLES SUR LES CARACTERES BIOLOGIQUES.

	Variables / Caractères		Variété (V)	Stade (S)	Milieu (M)	Souche (s)	
chenilles	Mortalité		xx	xxx	xx	xxx	Mxs xx SxM xxx
	Durée du développement		xx	xxx	xxx	xx	Mxs x Sxs xx SxM xx VxS x
chrysalides	Mortalité		-	-	x	x	Sxs xx
	durée du développement	♂	xx	x	xxx	x	SxM xxx VxS x
		♀	xx	xx	xxx	x	Sxs x VxSxs x
	Poids	♂	x	-	x	xxx	SxM xx
		♀	-	x	-	xxx	Mxs x SxM xx
adultes	Adultes normaux		xx	xx	-	xx	VxMxs x
	Longévité	♂	-	-	-	xxx	
		♀	-	-	x	xx	
	Envergure des des ailes	♂	-	-	x	xxx	Mxs x
		♀	x	-	-	xxx	Mxs x Sxs x
	Sex-ratio		-	-	-	-	SxM x VxSxM x
	Fécondité		xxx	xxx	xx	xxx	SxM xx VxMxs xx VxSxs x VxSxM xx
oeufs	viabilité des oeufs		-	xx	-	xxx	Sxs x SxMxs xx VxSxs x
	Durée d'incubation		x	-	xxx	xxx	SxM x
	Taux d'éclosion		x	xx	-	xxx	

x = Significatif avec seuil de probabilité compris entre 0,05 - 0,01

xx = " " " " 0,01 - 0,001

xxx = " " " < 0,001

\- = non-significatif

Fig. 6A Effet d'une intéraction des milieux et des tissus du maïs sur le développement d'*O. nubilalis*.

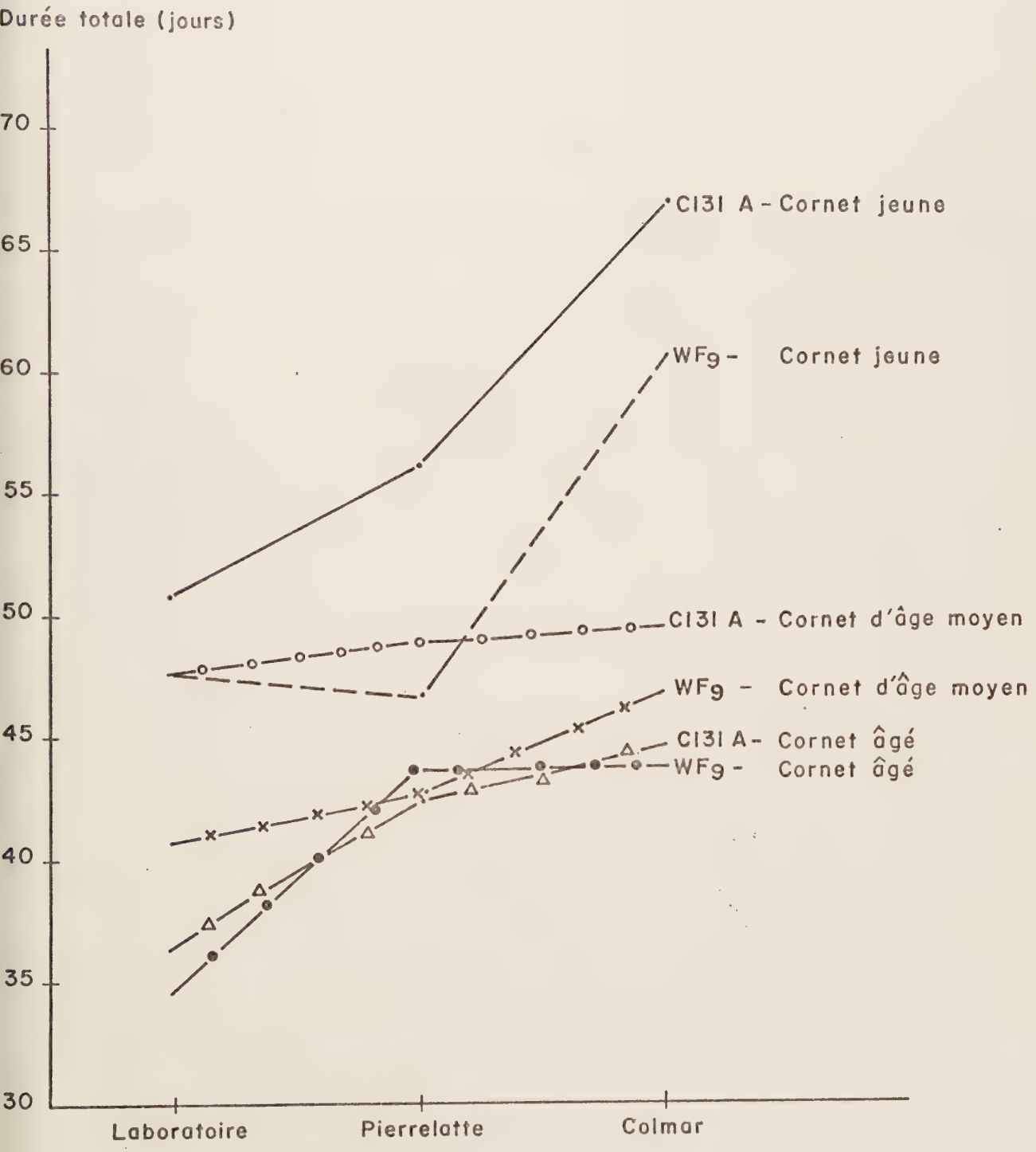
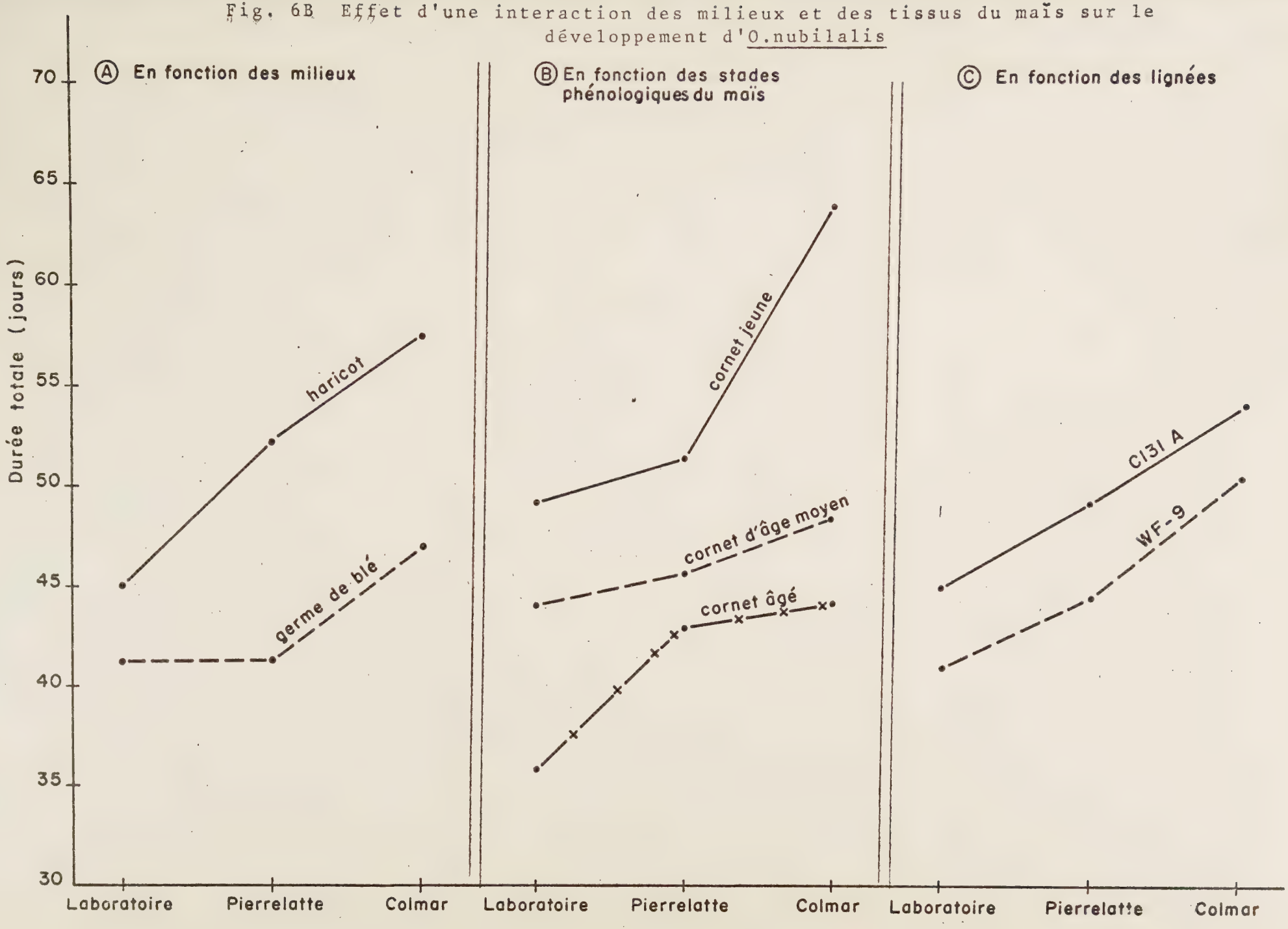


Fig. 6B Effet d'une interaction des milieux et des tissus du maïs sur le développement d'O.nubilalis



Le milieu haricot, bien qu'il soit supplémenté en poudre de maïs, demeure moins satisfaisant que le milieu germe de blé pour le développement et la survie. De plus, la mortalité augmente quand on ajoute de la poudre de feuilles d'une lignée résistante. BECK (1960) observe 25% de mortalité larvaire avec le Dimboa à dose de 0,35 mg/g dans le milieu méridique. Pour notre part, nous observons une mortalité plus élevée qui est peut-être due à l'intéraction entre les tissus du maïs ajoutés aux milieux et la souche. Le stade phénologique et la lignée ont certainement des effets liés à la concentration en Dimboa, de même qu'une intéraction est remarquée entre les souches et les milieux d'alimentation.

La souche provenant de la région à une génération par an (Colmar) se développe plus lentement, ses chenilles sont plus grosses, elles sont plus résistantes au froid et produisent plus de dégâts que la souche de Pierrelatte. On peut donc admettre qu'elles sont aussi plus résistantes au Dimboa. Ce dernier peut donc allonger la vie larvaire ainsi que l'a signalé BECK (1956 b ; 1960). Car un jeûne partiel peut être induit en raison de la présence de Dimboa qui agit comme dissuasif alimentaire (BECK, 1960 L'allongement de la durée larvaire est plus important dans la nature car les chenilles sont exposées aux facteurs climatiques défavorables. Elles sont aussi soumises aux parasitisme et prédatisme etc... qui risquent d'augmenter la mortalité.

b) Mortalité, durée du développement et poids des chrysalides.

Aucun facteur n'influe nettement sur la mortalité nymphale, mais il existe une intéraction "stade – souche" importante. Les chrysalides mâles se développent un peu plus vite que les femelles dans les conditions de l'élevage. Alors que dans la nature, elles se développent moins vite, le développement étant alors plus court aux stades larvaires (WALKER, 1962). Ceci a pour résultat de faire coincider l'émergence des deux sexes et par conséquent de permettre l'accouplement. REED, BRINDLEY et SHOWERS (1972) observent une durée du développement des deux sexes du même ordre que les chenilles s'alimentent sur des tissus

résistants ou sensibles. La différence que nous observons provient probablement de l'effet très significatif des milieux.

Les réserves acquises par les chenilles persistent et confèrent aux chrysalides un poids élevé. Les chenilles femelles mangent plus que les mâles et se développent moins vite. Mais il est à noter que les chrysalides de la souche Colmar ne sont pas plus lourdes, alors que les chenilles le sont. Donc une relation entre ces 2 paramètres n'existe pas dans ce cas, contrairement à ce qui est observé chez les chenilles alimentées sur les 2 milieux sans addition des poudres.

Dans le cas de la lignée WF 9 au stade cornet âgé, il n'y a pas d'augmentation du poids nymphal. Par contre on observe une grande différence entre le poids des mâles et des femelles comme le remarquent REED, BRINDLEY et SHOWERS (1972), chez les chrysalides d'O. nubilalis provenant de chenilles s'alimentant sur des tissus sensibles de maïs. Dans les autres cas, cette différence n'est pas observée, ce qui est peut être dû à la souche, étant donné le rôle très important de ce facteur. Une combinaison entre les tissus résistants et le milieu doit aussi avoir une influence sur le poids. Le taux de nymphose est affecté par les stades phénologiques de la plante comme l'indique aussi BECK (1960) en relation avec des concentrations en Dimboa en milieu artificiel.

c) Emergence, longévité, taille et sex-ratio des adultes.

L'émergence des papillons normaux est également sous l'effet de la lignée, du stade et de la souche avec une intéraction, dans une moindre mesure, entre lignée, milieu et souche. La longévité plus grande des femelles que nous avons constatée est vérifiée pour la plupart des insectes phytophages. Ceci a pour résultat d'augmenter la population d'une espèce car la femelle pond souvent jusqu'à la fin de sa vie, en relation avec ses réserves nutritionnelles et énergétiques. Aux chrysalides lourdes correspondent souvent de gros adultes. Il est aussi noté que l'alimentation de l'insecte à l'état larvaire agit moins sur la longévité et la taille des adultes (quel que soit le sexe) que la provenance de la souche.

Le nombre des femelles est toujours inférieur à celui des mâles ce qui est peut être un caractère génétique. Dans certains cas précis (souche Laboratoire et Pierrelatte, germe de blé, WF 9), la sex-ratio plus proche de 1 peut être due à l'échantillonnage des chenilles.

d) Fécondité des femelles.

La souche Laboratoire voit sa fécondité diminuer avec la lignée résistante et augmentée avec la croissance de la plante. Les femelles sont plus fécondes sur le milieu à base de germe de blé, en raison sans doute de la qualité de l'alimentation ; quels que soient la lignée, le stade etc... L'augmentation de la fécondité avec la croissance de la plante est en relation avec la diminution de la teneur en Dimboa. REED, BRINDLEY et SHOWERS (1972) observent aussi les mêmes effets. L'alimentation des chenilles intervient moins dans l'intéraction, de ce fait, les effets des milieux sont peut-être masqués par les autres facteurs. Dans cette étude, nous observons une corrélation entre la fécondité et la taille des femelles ($r = + 0,671$).

c) Viabilité et durée d'incubation des oeufs.

Aucun facteur sauf la souche n'agit sur la fertilité, le taux d'éclosion et la durée d'incubation des oeufs. Nos résultats vont dans le même sens que ceux notés par REED, BRINDLEY et SHOWERS (1972) et SHAPIRO et PEREVERZEV (1975).

d) Durée du développement.

Nous avons vu que la souche Colmar mettait plus de temps que les 2 autres souches pour accomplir un cycle entier. Cette souche provient d'une région où il y a une seule génération et où les insectes passent plus de temps à l'état larvaire. On note que la durée totale d'une génération est beaucoup plus liée à la durée de vie larvaire qu'aux autres stades. SULLIVAN (1975) note une mortalité larvaire élevée, un taux de nymphose réduit et un

développement ralenti chez des chenilles qui s'alimentent sur les milieux artificiels additionnés de feuilles d'une lignée résistante du maïs. Dans le cas de la souche de Pierrelatte à 2 générations par an, une durée de développement larvaire prolongée au niveau de la première génération peut s'avérer néfaste pour la seconde dont le déroulement peut être entravé précocement par des facteurs climatiques défavorables.

Par l'analyse des feuilles nous pouvons conclure que la lignée CI 31 A est vraiment résistante alors que WF 9 est sensible à l'attaque de la pyrale. Cette résistance est due à la concentration du Dimboa qui dépend du matériel génétique, du stade phénologique et des organes prélevés. Donc le dosage du Dimboa est un critère très important à considérer dans l'évaluation des lignées ou hybrides. Il y a peut être également d'autres facteurs d'antibiosis qui interviennent (caractères physiologiques ou morphologiques, substances répulsives etc...) comme l'indique SULLIVAN (1975) dans les lignées exotiques. Dans notre étude cette concentration est plus forte au stade cornet jeune, moins élevée au stade cornet d'âge moyen et très faible au stade cornet âgé. Donc le stade de croissance est important dans les études de la résistance.

La souche de Colmar est plus vigoureuse que les 2 autres biotypes. Celle de Pierrelatte montre plus de résistance que celle du Laboratoire aux poudres ajoutées au milieu.

Le milieu à base de germe de blé est meilleur que celui de haricot, qu'on le donne aux chenilles sans ou avec les poudres de maïs. Car si un milieu, déjà insuffisant nutritionnellement, est additionné d'un facteur défavorable, le mélange joue encore plus sur les caractères physiologiques. Cet aspect peut avoir une importance pratique.

Cependant pour les intéractions étudiées (souches, stades, lignées) en fonction de l'alimentation des chenilles, les caractères des chrysalides et des adultes sont indépendants les

uns des autres. Les critères les plus influencés sont : la mortalité et la durée du développement larvaire, le poids nymphal et la fécondité, qui ont une grande importance dans l'évolution et la multiplication de la population. Les corrélations mises en évidence entre les données biologiques peuvent être aussi utilisées dans ces études.

B) INFLUENCE DE DIVERS MILIEUX SUR LE COMPORTEMENT ALIMENTAIRE DES CHENILLES

Le choix de la plante-hôte par l'insecte est un phénomène complexe. Dans ce choix interviennent, d'une part, les caractères physiques du végétal, favorables ou non à l'insecte, qui sont liés à la texture, l'emplacement de la plante hôte, l'intensité de la lumière etc... D'autre part, les besoins nutritionnels qui sont satisfaits par les substances essentielles digestibles présentes dans la plante (glucides, protéines, lipides etc..). Les plantes sont aussi caractérisées par les substances dites secondaires; nombre d'insectes choisissent leurs hôtes en fonction de ces substances, (FRAENKEL, 1959). Parmi ces substances secondaires, la présence ou l'absence de substances toxiques, la synchronisation du stade de croissance de la plante et de celui de l'insecte et le comportement de ponte des femelles sont des facteurs importants dans la sélection de l'hôte (FRIEND, 1958) et par conséquent, dans les relations plantes-insectes (MOREAU et GAHUKAR, 1975).

Le comportement alimentaire est régi par les stimulus émanant de la plante (visuels, olfactifs, gustatifs etc.. Les insectes en détectant des phagostimulants et/ou des substances secondaires, obtiennent des informations sensorielles de l'aliment (JERMY, 1966; SCHOONHOVEN, 1972). Donc la chimioréception est liée au comportement alimentaire et aux besoins nutritionnels qui sont bien étudiés chez les phytophages (DETHIER, 1970 a,b, CHAPMAN, 1974; GALLUN, STARKS et GUTHRIE, 1975). D'après la synthèse faite par SINOIR (1969), l'ordre des phases dans le comportement alimentaire est le suivant :

1°) l'orientation vers l'aliment - des stimulus attractifs ("attractants") ou répulsifs ("repellents") produisent l'attraction de l'insecte vers l'aliment ou le contraire.

2°) la reconnaissance de l'aliment - après le contact de l'aliment, l'insecte reste ou s'éloigne selon qu'il est en présence de facteurs d'arrêt, de fixation ("arrestants") ou de facteurs répulsifs ("repellents").

3°) la morsure ("biting response") - presence de facteurs incitants ("incitants") ou inhibiteurs ("inhibiters).

4°) l'ingestion continue - après la morsure, la poursuite de l'ingestion (ou son interruption) dépend de facteurs stimulants (ou appétitifs) ou dissuasifs ("stimulants", "deterrents" etc..).

5°) l'arrêt de l'alimentation - il s'agit plutôt de satiété.

LE BERRE (1963), MOREAU (1967) et SINOIR (1969) ont tenté d'expliquer les termes anglo-saxons.

Le comportement alimentaire de la pyrale du maïs est étudié par BECK (1956 c, 1960) en relation avec son hôte principal, car la résistance se manifeste au niveau des séquences alimentaires (HUBER, 1937; BELL, 1955; PEREVERZEV, 1973). Le comportement alimentaire des chenilles est caractérisé par :

1) un phototactisme négatif,
2) un thymotactisme positif,
3) un saccharotropisme positif (BECK, 1956 c).

Les attractifs chimiques jouent un rôle dans le déterminisme des sites d'attaque de la plante par l'insecte. Les caractères physiques cependant, ont une influence sur le comportement des chenilles du premier stade.

Dans les conditions expérimentales du laboratoire, les chenilles sur milieux contenant les extraits de tiges, feuilles, gaines ou panicules sont attirées de la même façon

par les différents milieux (BECK, 1956 b). Des travaux ultérieurs ont montré que les chenilles néonates sont plus attirées, à faible distance, par les milieux artificiels qui contiennent les extraits de feuilles de maïs que par ceux où les extraits sont remplacés par du glucose + RFA. L'extrait de feuilles contient probablement des substances attractives. MOORE (1928) a détecté une huile volatile (steam-volatile oil) dans les feuilles qui agit comme attractif olfactif pour les adultes femelles qui viennent y déposer leur ponte. Récemment ANDREW et CARLSON (1976) ont montré que les femelles peuvent choisir le génotype de la plante-hôte. Dans ce cas là, le choix de l'alimentation est simplement dû au hasard et non à des facteurs chimiques. Les sucres sont stimulants pour la pyrale, si bien que les chenilles âgées s'alimentent plus intensivement sur les parties du végétal qui contiennent des taux élevés de sucres (BECK, 1956 b). Egalement l'acide ascorbique a une action stimulante (CHIPPENDALE et BECK, 1964). Les substances stimulantes ou répulsives vis-à-vis de la prise de nourriture qui affectent la résistance du maïs, elle-même (BECK, 1957 a, b; 1960). Chez les lignées contenant beaucoup de Dimboa, les chenilles rejettent cette nourriture (SULLIVAN, 1975; SCRIBER et coll. 1975).

Les acides aminés jouent également un rôle; L- alanine, L- théonine, D- L- acide - L- amino-n - butyrique, L- méthionine, L- sérine sont les stimulants trophiques plus actifs que les β - alanine, L- troptophane, L- phényl alanine, L - arginine qui exercent un effet répulsif et par conséquent diminuent la durée moyenne de l'alimentation (BECK et HANEC, 1958).

Après avoir vu les effets des interactions entre milieux et de l'addition de poudre de maïs sur les caractères biologiques, notre but est de savoir si ces interactions interviennent aussi dans le comportement alimentaire. Les effets du Dimboa sur ce dernier n'ont jamais été étudiés par les divers auteurs. C'est ce qui nous a incité à

poursuivre ce travail avec différentes doses de Dimboa ajoutées aux milieux.

Mode opératoire

Nous avons expérimenté le choix-multiple pour les chenilles nouveau-nées entre 5 milieux de base utilisés auparavant (chapitre II). Ensuite, nous avons utilisé le choix-simple et le choix-multiple pour les 2 milieux à base de germe de blé ou haricot pour étudier l'interaction entre le milieu et les additions de poudre ou de Dimboa. Les poudres de feuilles lyophilisées du maïs au stade plantule sont ajoutées à raison de 10% du poids de milieu; ou le Dimboa purifié aux concentrations de 0,2, 0,3, 0,4, 0,5 mg par gramme de poids de milieu. Afin d'étudier le comportement alimentaire, nous prélevons les pontes avant l'éclosion (stade tête-noire), à partir de l'élevage permanent au laboratoire.

Pour faciliter cette étude, deux protocoles expérimentaux ont été utilisés : choix-multiple et choix-simple. Dans le premier cas, nous avons adopté un plan qui est analogue à celui utilisé par GAHUKAR (1975 c) pour O.nubilalis, SALAMA et EL-SHARABY (1973) pour Spodoptera littoralis Boisd., et d'après SELL et BODZNICK (1971) pour Heliothis virescens Boddie. Des disques ronds (19 mm de diamètre) sont découpés dans les milieux et sont mis dans une boîte de Pétri (9 x 2 cm). Ces disques sont placés sur le pourtour de la boîte à une égale distance du centre. Ils sont considérés comme des stations d'alimentation. Les disques sont disposés au hasard et le nombre des chenilles qui s'alimentent sur chaque station est le résultat de 3 répétitions (50 chenilles/répétition). Les chenilles nouveau-nées sont placées sur un papier filtre au centre de chaque boîte de Pétri pourvue des stations d'alimentation. Ces boîtes sont fermées de façon étanche et couvertes d'un papier noir pour empêcher que les chenilles ne soient attirées par la lumière en direction du couvercle. Les chenilles se dirigeant et restant en contact avec la station sont considérées comme s'étant alimentées et sont dénombrées toutes les heures pendant 8 heures, puis 4 heures après, enfin toutes les 24heures pendant 2 jours.

En situation de choix-simple, la technique reste la même sauf que chaque milieu (haricot ou germe de blé) additionné de Dimboa, a été comparé avec le milieu témoin dans chaque boîte de Pétri. Cette technique est analogue à celle utilisée par BECK (1960).

Résultats

Dans l'expérimentation du choix-multiple des 5 milieux de base, le nombre des chenilles attirées pour chaque milieu ne permet pas de distinguer un comportement alimentaire différent entre les milieux testés (Tableau 11). De plus, ce nombre ne varie pas beaucoup en fonction du temps d'observation, car les chenilles se sont peut être installées dès le premier jour de leur libération dans les boîtes.

TABLEAU 11 - Distribution des chenilles(en choix-multiple) sur 5 milieux artificiels de base.

milieux	Période d'observation	
	24 h	48 h
. semoule de maïs (commerce)	102	98
. semoule de maïs (grain entier)	106	98
. germe de blé	109	100
. haricots	95	105
. poudre de luzerne	102	94

Vu le nombre de chenilles nouveau-nées attirées par les 2 milieux en choix-multiple (Tableau 12) on peut tirer les conclusions suivantes : premièrement, il est évident que les chenilles préfèrent les milieux témoins à base de germe de blé et de haricot. Deuxièmement, l'attraction se fait aussi bien avec

TABLEAU 12

DISTRIBUTION (en choix-multiple) des CHENILLES NOUVEAU-NEES SUR LES DIFFERENTS MILIEUX

Période d'observation (h)	Milieux- Haricot							Milieux- Germe de Blé						
	T	1	2	3	4	S	R	T	1	2	3	4	S	R
1	22	18	6	16	7	13	17	18	18	7	5	8	14	21
2	10	12	8	10	7	15	14	17	14	10	13	6	16	20
3	18	8	11	5	5	15	15	15	30	13	9	4	15	17
4	19	8	8	6	3	11	8	18	18	15	10	3	11	17
5	10	8	8	7	2	12	12	18	18	9	8	1	15	23
6	16	10	4	7	3	9	11	19	22	8	9	2	15	23
7	25	11	5	5	6	17	18	17	13	9	5	3	15	23
8	19	16	6	3	1	24	16	24	20	9	4	1	17	22
12	21	16	7	6	0	20	19	22	32	12	5	0	18	18
24	27	12	4	4	1	19	20	23	28	11	2	2	16	24
48	22	16	1	7	1	20	22	22	24	12	6	0	17	20
72	25	8	4	1	0	17	23	26	30	9	5	0	15	17

T = Témoin

S = Lignée sensible WF9

R = Lignée résistante CI 31 A

1 - 0,2mg Dimboa/g milieu

2 - 0,3 " " "

3 - 0,4 " " "

4 - 0,5 " " "

les tissus résistants que les tissus sensibles. Troisièmement, la réponse d'attraction des chenilles diminue avec l'augmentation de la concentration du Dimboa ajouté au milieu. Quatrièmement, sur l'ensemble des expériences, les chenilles sont plus attirées par le milieu de germe de blé que par le milieu de haricot; sur le premier, la réponse est curieusement augmentée quand il reçoit une très faible concentration de Dimboa.

Lorsque les chenilles ont la possibilité seulement de choisir l'un ou l'autre milieu (choix-simple) additionné de 4 doses de Dimboa, leur distribution diffère comme l'indique la figure 7. On observe qu'il y a une différence dans l'attraction selon la concentration du Dimboa. La concentration 1 quel que soit le milieu attire plus de chenilles que le témoin. Elle évolue parallèlement avec la concentration 2 sur les 2 milieux. Les concentrations 3 et 4 ne montrent pas de différence entre elles jusqu'à la 5ème heure d'observation sur le milieu haricot, alors que le phénomène est inverse sur le milieu germe de blé à partir de la 6ème heure.

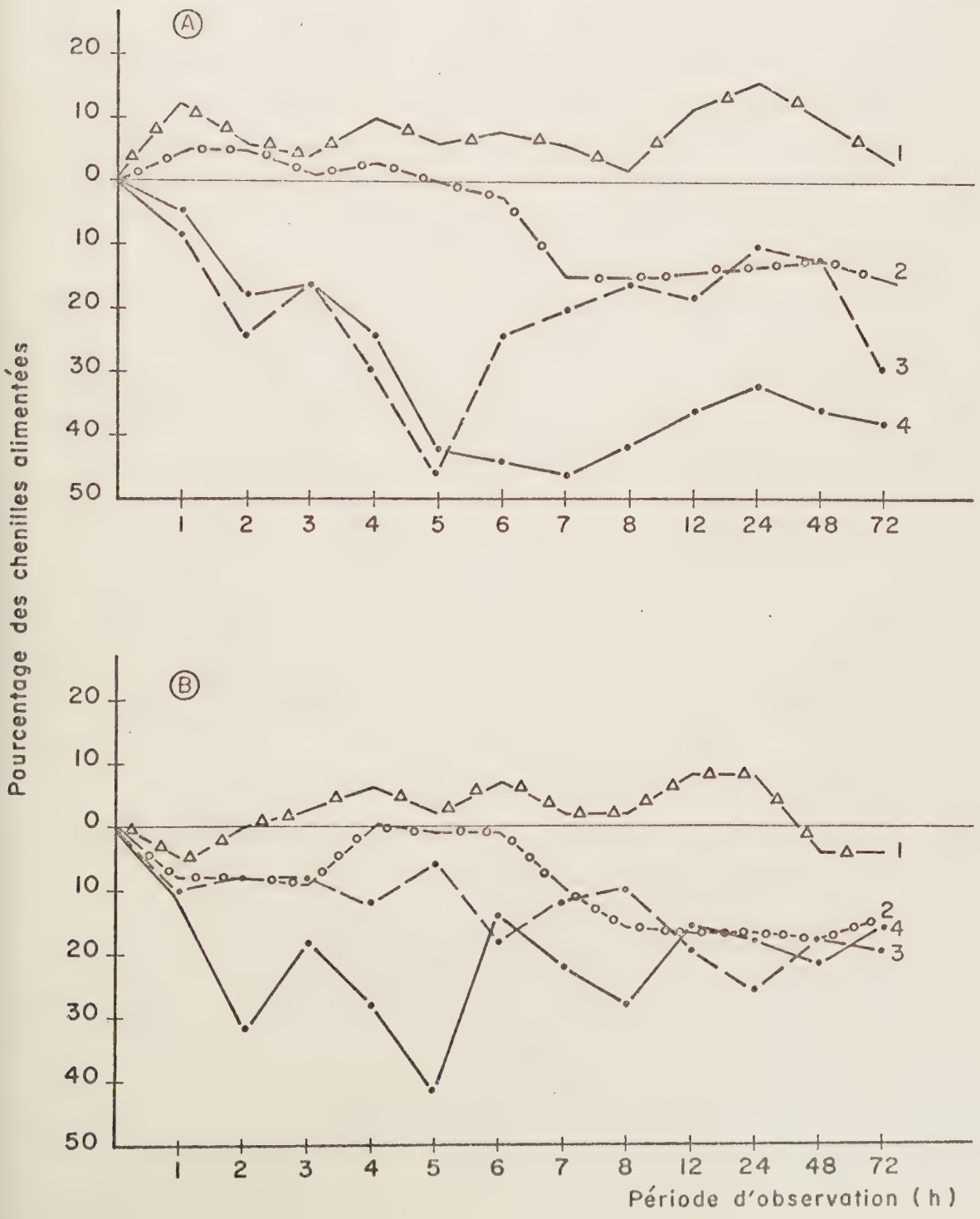
Discussion

On ne voit aucune différence dans l'attraction des chenilles sur les 5 milieux de base utilisés précédemment. Les caractères physiques ainsi que les caractères chimiques ne semblent pas avoir d'effet sur le comportement alimentaire. Les valeurs portées sur le graphique pour chaque milieu testé correspondent à la différence du nombre de chenilles observé entre chaque témoin et le milieu testé correspondant. Pourtant ces milieux agissent différemment sur le développement, la croissance et la reproduction de la pyrale du maïs.

En ce qui concerne le choix-multiple, les chenilles sont plus attirées par les milieux contenant des tissus du maïs, quelle que soit la lignée. BECK (1960) en ajoutant les feuilles du jeune maïs (25 mg/g) au milieu méridique observe une réponse d'alimentation de 95%. Avec une technique photographique (Time-Lapse photography), il a pu distinguer l'une de l'autre les réponses de gustation et d'olfaction et montrer que l'attraction des chenilles nouveau-nées par les tissus du maïs ajoutés au milieu est une réponse olfactive. Peut-être y aurait-il

Fig. 7 Distribution en choix-simple, en fonction du temps, des chenilles néonates sur 2 milieux contenant du Dimboa à 4 doses différentes.

A = milieu haricot
B = milieu germe de blé
1 = 0,2 mg. Dimboa /g milieu
2 = 0,3 " "
3 = 0,4 " "
4 = 0,5 " "



une plus grande différence au niveau de l'attraction si l'on ajoutait cette poudre à forte dose. SULLIVAN (1975) note une non-préférence des chenilles pour le milieu ayant des tissus du maïs contenant une forte concentration de Dimboa.

Chez Pieris brassicae L. les glucosides agissent comme stimulant d'alimentation mais 50% des chenilles pourtant acceptent l'alimentation sans glucosides (DAVID et GARDINER,1966). Il est à remarquer que le nombre des chenilles est plus grand sur un milieu contenant une faible dose de Dimboa.

Dans le choix-simple, l'attraction des chenilles est fonction des concentrations en Dimboa ajoutées aux 2 milieux de base. Dans cette expérience, nous n'avons pas pris en considération l'addition des tissus du maïs, car son effet est très clair dans le choix-multiple. Nous voyons ici comment le Dimboa seul agit sur le comportement alimentaire. La réponse des pyrales est liée à la chimioréception de contact et de gustation. La distribution est plus stable entre 8 et 24 heures après la libération des chenilles, quel que soit le milieu. Ceci peut être dû à l'adaptation des chenilles. Dans le cas du choix-multiple, les chenilles goûtent plusieurs milieux pendant leur recherche alimentaire et l'action des substances mélangées peut modifier l'attraction des chenilles. Donc, nous pensons que le Dimboa ajouté aux milieux agit comme dissuasif à dose moyenne et comme répulsif à une forte dose, surtout sur milieu haricot. Ceci apparaît moins nettement sur milieu germe de blé où il y a un équilibre entre des facteurs favorables du milieu et défavorable comme le Dimboa selon le triangle proposé par JERMY (1961).

Dans les premières heures, la réponse est moins diversifiée que dans les dernières heures, avec un maximum à 5 heures, quel que soit le milieu. Au début de l'expérience, seule l'olfaction peut intervenir, alors que dans les heures qui suivent, c'est la gustation qui prédomine. C'est pourquoi dans la deuxième période de l'expérience, la diminution d'attraction qui se manifeste peut être liée au Dimboa qui agit comme dissuasif. De même, BECK(1960) indique que la concentration du RFA dans le milieu jusqu'à 0,1mg/g entraîne une réponse plus faible de l'orientation vers l'alimentation. Cependant une action

du 6 MBOA sur les caractères biologiques est modifiée par un mélange de vitamines dans le milieu artificiel (KLUN et BRINDLEY, 1966), alors que celle du Dimboa n'est pas changée (KLUN, TIPTON et BRINDLEY, 1967).

Dans les essais sur les 5 milieux de base, on peut conclure que ces milieux n'ont pas d'influence sur le comportement alimentaire, mais agissent sur la biologie par l'intermédiaire des substances nutritionnelles. Par contre, la composition des milieux modifiée par l'addition de Dimboa agit sur le comportement des chenilles nouveau-nées. Mais surtout c'est la concentration de cette substance qui est le facteur le plus important car il peut agir en même temps comme dissuasif et répulsif.

C) CONCLUSIONS

L'addition de feuilles lyophilisées dans les milieux d'alimentation des chenilles nous permet d'étudier les facteurs responsables de l'antibiosis et de les prendre en considération dans l'évolution des moyens de lutte.

Les lignées et leurs stades de croissance gardent toujours leur résistance propre quel que soit le milieu d'alimentation des chenilles. Ceci nous donne donc la possibilité d'étudier la résistance du maïs, en utilisant les différentes souches de l'insecte des régions où il produit d'important ravage afin de prévenir le dégât ou bien de comparer la performance des lignées indigènes ou exotiques dans un climat donné.

Les caractères biologiques considérés dans cette étude montrent des effets importants des milieux et des lignées, qui doivent être transposables dans la pratique.

Enfin, l'interaction tissus de maïs et milieux artificiels est un aspect fondamental avec un caractère utilisable en pratique, car chez la pyrale du maïs, l'importance respective des populations peut varier selon la valeur nutritionnelle de la plante-hôte.

Le comportement alimentaire est important à considérer car le type d'alimentation peut modifier la distribution des chenilles sur les différentes parties de la plante, et selon la sensibilité de la variété considérée.

Le stade phénologique par la composition chimique reflète l'importance du dégât que peut causer la pyrale) quel que soit le biotype. Les études au laboratoire sur l'interaction des divers facteurs étudiés facilitent aussi la reconnaissance de la vigueur du biotype lui-même vis-à-vis des cultures. De plus, une combinaison entre une mauvaise alimentation des chenilles et des lignées résistantes peut modifier la réponse ou la physiologie de l'insecte. Ceci peut entraîner des maladies cryptogamiques, des viroses chez les chenilles déjà affaiblies.

Le dosage du Dimboa est nécessaire pour évaluer la sensibilité des lignées mais il serait souhaitable de l'associer avec la notation des dégâts surtout pour la première génération. Les efforts doivent alors tendre à augmenter la teneur de cette substance dans les différentes lignées du maïs.

CHAPITRE IV

PRISE DE NOURRITURE DES CHENILLES DE LA PYRALE

Les aspects qualitatifs et quantitatifs de la nutrition ont une grande importance dans la physiologie des insectes phytophages, surtout du point de vue énergétique (ENGELMANN, 1966). Dans certains cas, ils peuvent avoir des effets défavorables (SOO HOO et FRAENKEL, 1966 a).

Souvent les auteurs ont étudié l'ingestion spécifique d'une plante pour un stade donné de l'insecte ou bien pendant toute sa vie, car la croissance est fonction de l'alimentation. On compare aussi la valeur nutritive des aliments, les biotypes des insectes, les substances de croissance etc.

Les substances secondaires produites par les plantes sont des métabolites et sont fabriquées dans les végétaux par suite d'une mutation (WHITTAKER et FEENY, 1971), mais elles jouent un rôle important dans les processus métaboliques et également dans la défense de la plante (SEIGLER et PRICE,1976). Il est possible que ces produits se trouvent dans plusieurs espèces de plantes consommées par les insectes polyphages. Ces problèmes de "Co-évolution" de la relation plantes-insectes sont discutés par EHRLICH et RAVEN (1964). BECK et REESE (1976) expliquent ce phénomène de la façon suivante :

- les insectes phytophages ont co-évolué avec leurs plantes-hôtes.
- plusieurs espèces d'insectes phytophages ont les mêmes besoins nutritionnels et sont souvent polyphages.
- Ces substances toxiques déterminent la spécificité des hôtes et donc le processus d'évolution.

Dans ce processus de co-évolution, interviennent des substances toxiques qui sont groupées en 2 catégories(d'après WHITTAKER et FEENY, 1971):

- les allomones : facteurs chimiques qui donnent un avantage adaptatif à la plante.
- les kairomones : facteurs qui donnent un avantage adaptatif à l'insecte.

Ces substances jouent un rôle important sur la croissance, le développement et la reproduction des insectes (JANZEN, 1973). Parfois les insectes ont la capacité de détoxifier ces substances (KRIEGER, FEENY et WILKINSON, 1971) et leurs sous-produits sont utilisés par les insectes. Ces aspects sont discutés en détail par HEDIN, MAXWELL et JENKINS(1974) Les effets de ces substances sur le métabolisme et le développement des insectes sont donc importants dans la sélection des plantes (BECK, 1974).

Si les études qualitatives sont bien développées, celles concernant les aspects quantitatifs ont moins attiré l'attention des chercheurs. Cependant, tout ce qui concerne la consommation et l'utilisation de la nourriture est examiné d'un point de vue critique par WALDBAUER (1968).

Pour estimer les processus physiologiques la méthode gravimétrique a été utilisée par plusieurs auteurs et donne un résultat satisfaisant et comparable à celle des marqueurs radioactifs. LAFON (1951), LE BERRE (1963), WALDBAUER (1968) discutent les méthodes d'évaluation de la consommation et d'utilisation de la nourriture, qui diffèrent selon l'espèce de l'insecte, l'âge, le sexe, le type de nourriture, les facteurs d'environnement etc... Chaque constituant nutritionnel est utilisé pour le métabolisme selon différentes voies enzymatiques (WALDBAUER, 1968).

Le Dimboa qui intervient, ainsi que nous l'avons montré, sur la survie, la croissance, le développement et la reproduction de la pyrale du maïs, est considéré comme substance allélochimique [substances non-nutritionnelles produites par un organisme qui affecte d'autres organismes (WHITTAKER, 1970)].

Nous sommes donc amenés à étudier les effets de cette substance sur d'autres aspects de la physiologie nutritionnelle de l'insecte, que ceux décrits précédemment.

A) INFLUENCE DU DIMBOA SUR LA CONSOMMATION ET L'UTILISATION DE LA NOURRITURE PAR LES CHENILLES DU DERNIER STADE.

FRAENKEL (1969) montre que les substances secondaires influent sur la consommation et l'utilisation de la nourriture par les insectes. Selon SHAVER, LUKEFAHR et GARCIA (1970), le gossypol (un facteur de résistance du coton contre les noctuelles) diminue l'assimilation de la nourriture chez Heliothis zea Boddie mais n'a pas d'effet important sur son utilisation par les chenilles de H. virescens F. Dans le cas de Papilio polyxenes Stoll., la sinigrine réduit l'efficacité de la nourriture ingérée transformée en matière corporelle (ERICKSON et FEENY, 1974). BARNEY et ROCK (1975) en étudiant des plantes de soja ayant différents degrés de sensibilité contre Epilachna varivestis Mulsant montrent que l'alimentation sur la variété résistante se traduit par une consommation plus élevée accompagnée d'une très faible assimilation. REESE et BECK (1976 a, b) étudient plusieurs substances allélochimiques pour leur effet chronique sur la croissance, l'ingestion et l'utilisation de la nourriture et le taux de pupaison chez Agrotis ipsilon Hufnagel . Les effets des substances allélochimiques sur l'ingestion et la survie de Myzus persicae Sulz. ont été étudiés récemment par SCHOONHOVEN et DERKSEN-KOPPERS (1976). Il est possible qu'il y ait en particulier des effets synergiques entre ces substances (BECK et REESE, 1976).

Les effets sur la consommation et l'utilisation de milieux additionnés de Dimboa n'ont jamais été précisés. Nous avons entrepris ce travail en complément des expériences sur le Dimboa afin de connaître ses effets sur la prise de nourriture et la digestion par les chenilles de la pyrale.

Mode opératoire.

Les chenilles du cinquième stade dès l'achèvement de leur mue sont pesées et placées individuellement dans des boîtes en plastique stérilisées, avec un cube de milieu artificiel. Les milieux à base de germe de blé et de haricot ont été utilisés en particulier, pour étudier la prise de nourriture et la digestion ; la physiologie de la digestion pouvant différer selon le milieu. Le Dimboa a été mis en solution dans la cellulose (cellulose méthyl : 1% de poids du milieu) car s'il est mélangé uniquement avec de l'eau, il est labile (BREDENBERG, HONKANEN et VIRTANEN, 1962). Le mélange est ajouté aux milieux à 2 concentrations en Dimboa. Des milieux contenant ou non la même quantité de cellulose ont été pris comme témoins.

Au début de l'expérience et chacun des jours suivants, les fèces sont séparés de l'alimentation et sont desséchés jusqu'à poids constant. Nous avons utilisé 2 lots de cubes de milieux dont un pour les pesées de poids frais et offert ensuite aux chenilles, et l'autre pour les pesées de poids frais-poids sec pour connaître la teneur en eau. Il en a été de même des chenilles. Chaque jour quelques unes étaient prélevées après le repas et desséchées pour une estimation du poids sec. La partie non consommée du cube est également pesée puis dessèchée et à nouveau pesée. Immédiatement après la mue le poids sec de 10 chenilles est déterminé, ensuite les essais portent sur 20 chenilles.

Nous avons basé nos calculs sur le poids sec en raison de l'avantage qu'il présente dans les études comparatives (CARNE, 1966). Les poids secs de l'insecte et aussi de la nourriture sont utilisés par EVANS et GOODLIFFE (1939) et WALDBAUER (1964). Il faut rappeler que le poids moyen frais des chenilles du dernier jour de la vie larvaire diminue car elles vident leur intestin et que leur teneur en eau diminue (GERE, 1956), mais leur poids sec reste maximum.

Afin de comparer à d'autres résultats les nôtres, nous utilisons les 5 coefficients qui sont les plus employés dans les méthodes gravimétriques. (WALDBAUER, 1968).

L'indice de consommation (C.I.) est le rapport entre la quantité de nourriture ingérée et le poids moyen de l'animal pendant la période de consommation. La moyenne des poids journaliers des chenilles donne une valeur identique si la courbe de croissance est régulière (WALDBAUER, 1964).

$$C.I. = \frac{\text{poids sec de nourriture ingérée}}{\text{période de consommation (jours)} \times \text{poids sec moyen de l'animal pendant la période de consommation}}$$

Le taux de croissance (G.R.) est calculé par la formule suivante :

$$G.R. = \frac{\text{gain de poids sec d'un animal pendant la période de consommation}}{\text{durée de la consommation (jours)} \times \text{poids sec moyen pendant la période de consommation.}}$$

En ce qui concerne la digestion et l'assimilation, le taux de conversion de la nourriture ingérée en matière corporelle (E.C.I.) est une mesure de la capacité de l'insecte à utiliser la nourriture ingérée pour sa croissance.

$$E.C.I. = \frac{\text{gain de poids sec}}{\text{poids sec de la nourriture ingérée}} \times 100$$

Le coefficient d'utilisation digestive est remplacé par l'appellation "coefficient d'utilisation digestive approximatif (C.A.D.)" d'après WALDBAUER (1968) car le coefficient ne tient pas compte du poids des produits rejetés dans l'urine ou les produits métaboliques comme la membrane péritrophique.

$$C.A.D. = \frac{\text{poids sec de nourriture ingérée} - \text{poids sec de fécès}}{\text{poids sec de nourriture ingérée.}} \times 100$$

Le taux d'efficacité de conversion en matière corporelle des nutriments absorbés (E.C.D.) exprime l'efficacité avec laquelle la nourriture digérée est convertie en substance du corps.

WALDBAUER (1968) remarque que cet indice varie avec la valeur nutritionnelle de l'alimentation mais ne dépend pas directement de sa digestibilité.

$$E.C.D. = \frac{\text{gain de poids sec}}{\text{poids sec des nutriments-poids sec de fécès absorbés}} \times 100$$

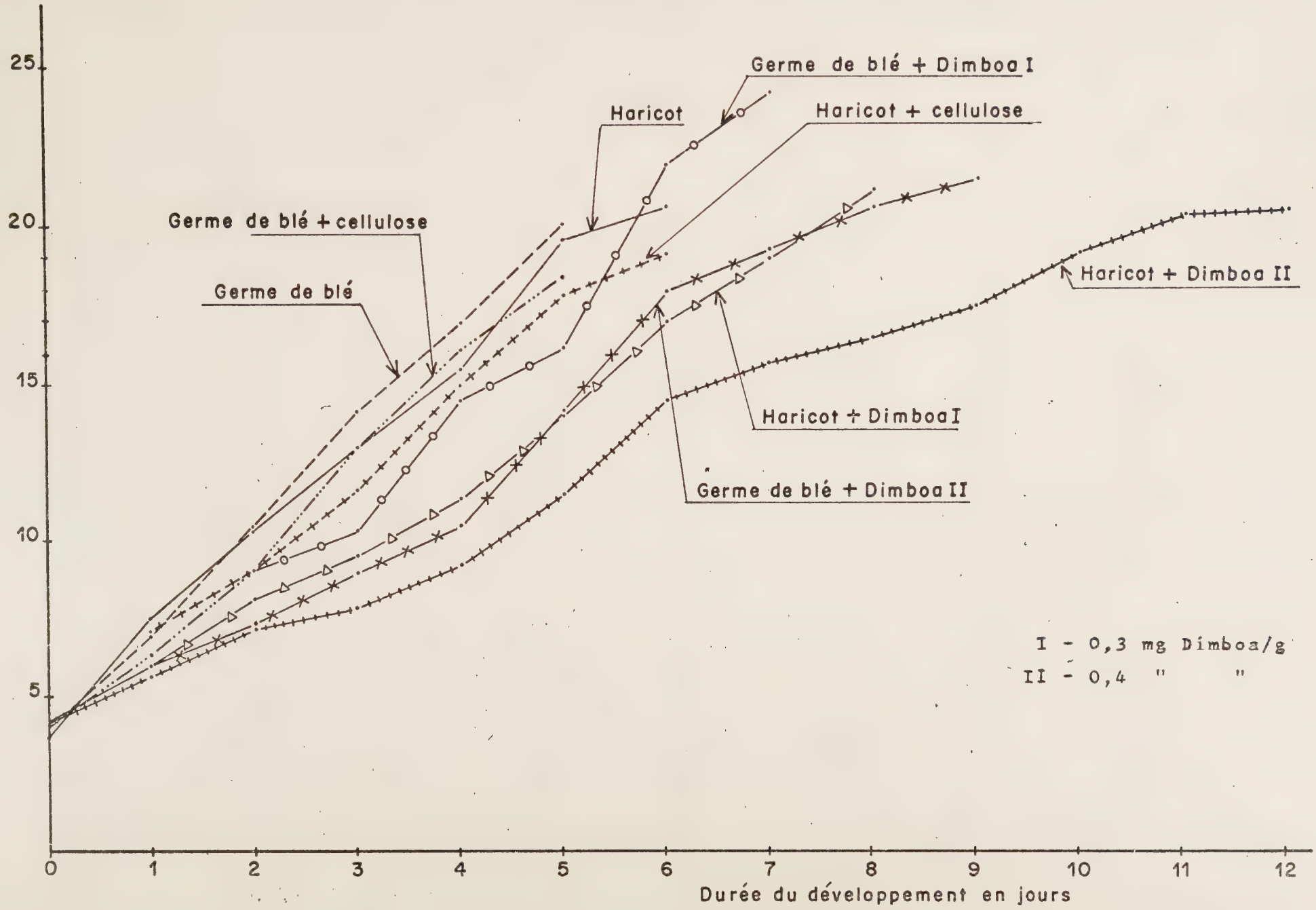
Résultats

La durée du développement est un peu plus allongée chez les chenilles s'alimentant sur milieu haricot que sur milieu germe de blé. La cellulose ajoutée aux milieux n'a pas d'influence très nette. L'addition de Dimboa dans les milieux aux deux doses testées allonge la durée d'alimentation des chenilles qui voient leur développement ralenti au fur et à mesure que la dose augmente. Nous n'avons, dans aucun cas, observé de mortalité.

Si l'on tient compte du poids sec des chenilles, il est égal sur les 2 milieux témoins (Fig.8) alors que la cellulose le diminue (20, 2 et 20, 8, contre 18,6 et 18,9 mg pour les milieux germe de blé et de haricot respectivement). L'addition du Dimboa à la dose de 0,3 mg ou 0,4 mg réduit le poids sec des chenilles.

Les indices de consommation et d'utilisation des 2 milieux de base diffèrent d'une part, en fonction de la composition du milieu et d'autre part, en fonction de la dose de Dimboa (Tableau 13). Souvent les chenilles mangent moins le premier jour. Le milieu haricot est consommé pendant 6 jours et en plus grande quantité mais elles défèquent davantage que sur le milieu à base de germe de blé ou elles ne mangent que durant 5 jours. Si l'on ajoute de la cellulose, le milieu haricot est un peu plus consommé alors que celui à base de germe de blé n'agit pas sur la nourriture ingérée. Il est net que l'addition du Dimboa à la dose de 0,3 mg diminue la consommation quel que soit le milieu de base, tandis qu'à une forte dose, les chenilles ingèrent plus de nourriture.

Fig.8 Influence sur le poids sec larvaire des milieux additionnés ou non de Dimboa.



TABLEAUX 13

INFLUENCE DE L'ADDITION DE DIMBOA SUR LES COEFFICIENTS (%) DE CONSOMMATION ET SUR L'UTILISATION DES MILIEUX

	Consommation et croissance					Digestion et utilisation		
(jours)	Nourriture ingérée (Poids secs en mg)	Fèces	CI	GR	ECI	CAD	ECD	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	
				MILIEU - GERME DE BLE				
1	81,2520	10,10	13,9754	0,6300	4,5084	87,5695	5,1485	
2	128,3476	19,95	13,9714	0,3354	2,4011	84,4562	2,8430	
3	90,2130	19,10	7,2345	0,2794	3,8630	78,8278	4,9006	
4	88,3847	18,60	5,6771	0,1759	3,1016	78,9556	3,9283	
5	115,5892	17,95	6,2130	0,1774	2,8558	84,4708	3,3809	
Total	503,7865	85,70	47,0714	1,5971	16,7299	414,2799	20,2013	
				MILIEU - HARICOT				
1	62,4105	23,15	10,6867	0,6504	6,0869	62,9869	9,6638	
2	83,1700	45,63	9,2080	0,2862	3,1089	45,1725	6,8823	
3	111,8917	48,32	9,5961	0,2289	2,3861	56,8332	4,1985	
4	128,1371	41,41	8,9418	0,1863	2,0837	67,6908	3,0783	
5	102,7444	28,52	5,7796	0,2375	4,1104	72,2612	5,7883	
6	121,4862	44,52	5,9674	0,0461	0,7735	63,3538	1,2209	
Total	609,8399	231,55	50,1796	1,6354	18,5495	368,2984	30,7321	

(suite)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
			MILIEU GERME DE BLE + CELLULOSE				
1	79,9259	7,60	15,3288	0,4934	3,2188	90,4911	3,5570
2	115,6294	19,37	14,6057	0,3577	2,4495	83,2482	2,9424
3	116,7947	29,60	10,4802	0,3250	3,1018	74,6563	4,1548
4	97,4261	18,14	6,6552	0,2299	3,4555	81,2781	4,2515
5	90,3537	11,65	5,1780	0,1291	2,4947	87,1062	2,8640
Total	500 ,1298	86,46	52,2479	1,5351	14,7203	416 ,7799	17,7697
			MILIEU HARICOT + CELLULOSE				
1	75,5260	11,13	13,1831	0,4705	3,5694	85,2633	4,1864
2	79,2147	28,37	9,8034	0,2483	2,5331	64,1859	3,9465
3	133,0740	52,65	12,7129	0,2644	2,0800	60,4355	3,4417
4	125,1749	61,17	9,3149	0,2361	2,5348	51,1323	4,9574
5	110,7926	56,30	6,7169	0,1782	2,6536	49,1843	5,3952
6	106,9362	44,15	5,6620	0,0976	1,7239	58,7137	2,9361
Total	630,7184	253,77	57,3932	1,4951	15,0948	368,9150	24,8633

(suite)

MILIEU GERME DE BLE + CELLULOSE + 0,3mg. DIMBOA/g MILIEU

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	30,0576	17,59	5,6575	0,3248	5,7413	41,4790	13,8414
2	34,0157	17,09	4,3989	0,4026	9,1540	49,7584	18,3968
3	38,4761	24,38	3,8847	0,1241	3,1967	36,6359	8,7258
4	49,3057	24,60	3,9283	0,3237	8,2410	50,1071	16,4468
5	45,6289	27,41	2,8711	0,1648	5,7400	39,9284	14,3757
6	58,5681	25,91	2,9819	0,2483	8,3287	55,7609	14,9365
7	25,9789	18,70	1,1162	0,1025	9,1836	28,0185	32,7769
Total	282,0310	155,68	24,8386	1,6908	49,5883	301,6882	119,4999

MILIEU HARICOT + CELLULOSE + 0,3mg DIMBOA/g MILIEU

1	29,2118	21,46	5,7187	0,3724	6,5127	26,5365	24,5426
2	31,7455	19,37	4,4308	0,3085	6,9628	38,9834	17,8610
3	35,2107	22,17	3,9346	0,1517	3,8573	37,0361	10,4150
4	56,0763	28,78	5,3019	0,1793	3,3832	30,8442	10,9688
5	61,5060	43,52	4,8138	0,1959	4,0698	29,2426	13,9174
6	50,2264	32,32	3,2288	0,1942	6,0167	35,6513	16,8766
7	37,9493	26,93	2,0988	0,1139	5,4296	29,0368	18,6990
8	12,4821	3,90	0,6194	0,1030	16,6342	68,7552	24,1933
Total	314,4081	208,45	30,1468	1,6189	52,8663	296,0861	135,4737

(Suite)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	MILIEU GERME DE BLE + CELLULOSE +0,4mg. DIMBOA/g					MILIEU	
1	30,3590	21,59	5,7140	0,3043	5,3262	28,8843	18,4399
2	38,3355	25,08	5,6744	0,1877	3,3092	34,5776	9,5703
3	32,0467	24,10	3,9116	0,1959	5,0092	24,7972	20,2008
4	53,0227	28,58	5,4083	0,1649	3,0492	46,0985	6,6146
5	50,7925	33,56	4,0949	0,2888	7,0545	33,9272	20,7932
6	56,9608	31,41	3,5333	0,2388	6,7600	44,8568	15,0703
7	39,1593	30,96	2,0932	0,0707	3,3787	20,9383	16,1367
8	23,9094	20,17	1,1906	0,0709	5,9549	15,2216	39,1218
9	40,1438	23,15	1,8903	0,0417	2,2063	42,3329	5,2119
TOtal	364,7297	238,70	33,5106	1,5637	42,0482	291,6338	151,1595
	MILIEU HARICOT + CELLULOSE + 0,4mg DIMBOA/g					MILIEU	
1	19,1143	12,49	3,8383	0,3536	9,2140	34,6562	26,5869
2	19,6819	8,16	3,0258	0,1980	6,5461	54,5405	11,1821
3	33,1986	19,11	4,3956	0,1069	2,4329	42,4373	5,7330
4	52,5924	13,15	6,1216	0,1477	2,4138	74,9963	3,2186
5	50,3010	35,00	4,8410	0,2241	4,6305	30,4188	15,2225
6	31,1121	18,63	2,3701	0,2394	10,1021	40,1197	25,1800
7	45,7552	23,76	2,9907	0,0785	2,6268	48,0714	5,4643
8	22,0951	12,46	1,3581	0,0453	3,3387	43,6074	7,6563
9	60,6033	30,62	3,5387	0,0569	1,6094	49,4746	3,2531
10	50,3382	19,16	2,7314	0,0885	3,2428	61,9374	5,2357
11	62,5781	35,50	3,1591	0,0568	1,7987	43,2708	4,1568
12	42.5136	13,74	2,0706	0,0156	0,7543	67,6809	1,1145
total	489,8838	241,78	40,4410	1,6113	48,7101	595,2113	114,0038

De façon générale, l'indice de consommation (C.I.) est plus élevé le premier jour. Cet indice est plus faible pour le milieu germe de blé que haricot, mais il montre une augmentation par l'addition de cellulose, quel que soit le milieu. Il est réduit presque de moitié avec l'addition du Dimboa (0,3mg/g), mais réaugmente à forte dose (0,4mg/g).

La croissance des chenilles n'est pas très différente pour les 2 milieux témoins mais sur celui à base de germe de blé la valeur est inférieure à celle sur milieu à base de haricot. L'addition de cellulose dans le milieu germe de blé n'affecte pas l'indice G.R, mais le milieu haricot + cellulose le réduit. Le Dimboa à faible dose augmente ces valeurs quel que soit le milieu. A forte dose, la croissance relative est réduite par le milieu germe de blé mais reste identique pour l'autre milieu.

L'E.C.I. a une valeur plus faible sur milieu germe de blé que sur le milieu haricot. L'adjonction de cellulose réduit ce coefficient, quel que soit le milieu alors qu'il a une augmentation triple quand on ajoute le Dimboa à la concentration de 0,3 mg. Pour une plus forte concentration, on note une légère diminution.

Les valeurs du coefficient C.A.D. sont inverses de celle de l'E.C.I. Le C.A.D. est plus élevé sur milieu germe de blé que sur milieu haricot. Mais l'addition de cellulose produit une différence seulement sur le premier milieu. Quel que soit le milieu, cet indice diminue à la dose de 0,3 mg de Dimboa. Si l'on ajoute cette substance à une forte dose dans le milieu germe de blé, le C.A.D. est un peu diminué alors que sur milieu haricot, cette valeur est double par rapport à celle obtenue avec une faible dose.

Quant au coefficient d'efficacité de conversion en matière corporelle des nutriments absorbés (E.C.D.) sur les deux milieux témoins, la valeur est inférieure pour le milieu germe de blé. On remarque que ce coefficient est diminué par l'addition de cellulose, quel que soit le milieu de base. Alors que sa valeur

est sept fois ou cinq fois et demi plus grande sur les milieux germe de blé et haricot respectivement en raison du Dimboa (0,3mg). De même, la dose de 0,4 mg augmente la valeur du coefficient sur le milieu de germe de blé mais la réduit sur le milieu haricot.

Discussion

La discussion porte sur le total des valeurs de chaque coefficient considéré. Les chenilles de la pyrale du maïs consomment plus le milieu haricot, moins nutritif, mais pendant une durée plus longue par rapport au milieu germe de blé, pour satisfaire leurs besoins nutritionnels. La teneur élevée en eau du milieu haricot peut aussi avoir des conséquences sur la consommation et la digestion comme le montrent HOEKSTRA et BEENAKKERS (1976) chez Locusta.

Nous voyons dans nos expériences sur les 2 milieux témoins qu'il n'y a pas beaucoup de différence si l'on considère le poids sec des chenilles; la raison en est probablement que seul le dernier stade a été élevé sur ces milieux. L'efficacité de la transformation de la nourriture ingérée en matière corporelle peut être diminuée souvent avec l'âge des chenilles, surtout vers la fin, car elles mangent jusqu'au dernier jour avant de préparer leur cocon (SOO HOO et PRAENKEL, 1966 b). Le taux élevé d'utilisation du milieu germe de blé ajouté à la valeur nutritionnelle de ce milieu permet aux chenilles d'assimiler au mieux les constituants du milieu.

Il est à remarquer également que malgré la défécation moindre par rapport à la quantité de nourriture ingérée sur milieu germe de blé,les taux de conversion de nourriture ingérée (E.C.I.) et de conversion de nourriture digérée (E.C.D.) n'en sont pas plus élevés. Sur des milieux additionnés de poudre ou d'extrait acqueux de feuilles de maïs ou de germe de blé, LEWIS et RAUN (1966) montrent que la consommation et l'utilisation de la nourriture par les chenilles d'O.nubilalis varient en fonction de l'âge et de la composition des milieux.

Il nous apparaît que les valeurs de l'E.C.I. du C.A.D. et de l'E.C.D. sont comparables avec celles trouvées pour les autres insectes phytophages élevés sur les plantes (WALDBAUER, 1968).

L'addition de cellulose n'augmente ni la durée d'alimentation ni le poids des chenilles. Une diminution de l'E.C.D. pourrait être dus aux métabolites présents. D'une part, la cellulose augmente la consommation (C.I.) des chenilles de la pyrale du maïs ce qui est observé chez plusieurs espèces d'insecte phytophages, par exemple, Locusta migratoria migratoriodes R. et F. (SINOIR, 1969), Melanoplus bivittatus Say. et M.sanguinipes F. (Mc GINNIS et KASTING, 1967), Bombyx mori L. (MUKAIYAMA et ITO, 1962). D'autre part, on peut conclure que la cellulose n'est pas digérée par les chenilles comme c'est le cas chez d'autres insectes phytophages (TRAGER, 1953; WIGGLESWORTH, 1965). BECK (1960) utilise 0,85% de cellulose dans le milieu mais ne donne pas de résultat de son action.

Cependant, les chenilles ingèrent moins de nourriture avec le Dimboa qu'avec l'addition de cellulose, la consommation augmente en fonction de l'augmentation de la dose, ainsi que la quantité de fécès, parce que les chenilles ont mangé durant 2 à 6 jours de plus. La croissance est réduite beaucoup par le Dimboa à un jour donné par rapport au témoin. Les coefficients de la digestion diminuent avec l'augmentation de la dose de Dimboa; pourtant l'E.C.D. est augmentée pour la concentration 0,4 mg sur milieu germe de blé. Ceci indique peut être une adaptation des chenilles. Une alimentation pauvre entraîne des adaptations morphologiques et physiologiques (CHARARAS, ECHAUBARD et DAVID, 1973; SELF, GUTHRIE et HODGSON, 1964 a). ERICKSON et FEENY (1974) montrent que la sinigrine agit sur la croissance des chenilles de P.polyxenes et a aussi des effets sur l'assimilation des nutriments en matière corporelle. SELF, GUTHRIE et HODGSON (1964 a,b) étudient l'adaptation des chenilles de M.sexta et observent que la nicotine est apparamment assimilée.

Une croissance relative améliorée ainsi que l'augmentation des coefficients E.C.I. et E.C.D. à faible dose de Dimboa peuvent être expliquées par 2 faits :

En premier lieu, les chenilles s'alimentent de façon continuelle. Il est possible que le Dimboa soit dégradé par les chenilles après l'ingestion. Ce type de phénomène est observé chez plusieurs espèces de lépidoptères par KRIEGER, FEENY et WILKINSON (1971). De plus, peut être y a-t-il un mécanisme efficace d'excrétion des substances toxiques chez les chenilles.

En deuxième lieu, les chenilles s'alimentent sur ce milieu probablement en raison d'hormologosis. LUCKEY (1968) a tenté d'expliquer ce phénomène en formulant l'hypothèse que les quantités subléthales des substances toxiques sont stimulantes, pour la prise de nourriture.

Les expériences nous permettent de conclure que le milieu haricot est consommé plus mais mal utilisé par les chenilles d'O.nubilalis. Cette insuffisance est compensée par une durée d'alimentation allongée, elles deviennent pratiquement aussi grosses et lourdes que celles alimentées sur milieu germe de blé.

L'effet de l'adjonction de cellulose se manifeste au niveau de la consommation mais elle n'est pas digérée par les chenilles.

Le Dimboa purifié ajouté aux milieux artificiels agit indépendamment de la composition de la nourriture et de la dose de cette substance. Il agit comme dissuasif et réduit la consommation dès le premier jour car peut être son action sur la chimioréception est forte. Alors que son action sur la prise de nourriture et l'utilisation peut être expliquée par 3 hypothèses (1) adaptation (2) dégradation (3) hormologosis.

Il est certain que cette substance agit sur la croissance et le développement par l'intermédiaire de la prise de nourriture et de la digestion. Une dose plus élevée peut jouer sur la mortalité en plus des critères étudiés. L'allongement de la vie larvaire peut être un facteur favorable pour entreprendre la lutte, comme nous l'avons expliqué ailleurs.

B) ANALYSE DES EFFETS DU DIMBOA SUR LA PRISE DE NOURRITURE APRES UNE MISE AU JEUNE.

Les larves des insectes phytophages s'alimentent pendant toute leur vie. Mais cette durée peut être réduite par des périodes de repos en liaison avec un rythme d'alimentation. Dans une alimentation normale, ces périodes de repos et d'alimentation dépendent d'abord de la capacité d'ingestion, de la vitesse du transit digestif, de l'état physiologique et du niveau métabolique de l'insecte ; ensuite la qualité de l'aliment, qui intervient sous la forme de divers stimulus d'ordre visuel, tactil, olfactif, a aussi un rôle important dans ce phénomène (LE BERRE et MAINGUET, 1973).

Une forme particulière de période de repos alimentaire est le jeûne. Dans les conditions naturelles, le jeûne peut survenir pour plusieurs raisons (environnement défavorable, indisponibilité des hôtes etc.). C'est ainsi que l'alimentation sur les tissus résistants du maïs montre un effet identique à celui d'un jeûne partiel chez les chenilles d'O. nubilalis. Nous avons vu que cet effet est dû à la présence du Dimboa.

Il en résulte qu'à un certain niveau de jeûne, les stimulus agissent plus activement et l'insecte peut réagir aux conditions défavorables. Ces aspects sont moins étudiés chez les lépidoptères, pourtant le jeûne influe directement sur le métabolisme et la physiologie de l'insecte ce qui se traduit par exemple, par une perte d'eau dans les tissus et une modification de l'équilibre ionique et de la pression osmotique. Par suite le comportement alimentaire, la croissance et la reproduction en sont affectés (LEONARD, 1970 ; DAHLMAN, 1973 a,b ; BOSQUET, 1973 ;

ALLEGRET, 1975 ; SCHROEDER, 1976). Cet ensemble est lié directement à l'environnement (BERNSTEIN, 1971).

Dans les expériences précédemment décrites, nous avons observé que l'adjonction de Dimboa dans l'alimentation des pyrales produit un effet dissuasif. Pour mesurer l'ampleur de cet effet, nous nous sommes proposés de tester l'action de cette substance en combinaison avec un jeûne complet.

Mode opératoire.

Immédiatement après la mue, les chenilles du 5ème stade sont élevées individuellement sur milieu germe de blé pendant 2 jours. Après avoir été mises au jeûne pendant 24 h, elles sont nourries sur 3 milieux : germe de blé, germe de blé+cellulose, germe de blé + cellulose + 0,3 mg Dimboa/g milieu. Ceci pendant 5 heures, car nous avons observé dans nos essais préliminaires que c'est environ le temps que dure un repas. Après cette période, les chenilles alimentées sur milieu germe de blé ou germe de blé + cellulose y demeurent tandis que celles mises sur milieu germe de blé + cellulose + Dimboa sont transférées sur milieu à base de germe de blé et cellulose.

Nous avons suivi la consommation et l'utilisation de la nourriture jusqu'à la fin du stade pour 20 chenilles dans chacun des cas. Le choix du milieu contenant du germe de blé est justifié par sa qualité nutritionnelle afin que les effets soient nets. Afin de comparer les résultats obtenus à ceux de la partie précédente, nous avons utilisé les mêmes critères et coefficients.

Résultats.

Les résultats sont consignés dans le Tableau 14.

L'alimentation des chenilles sur milieu contenant du Dimboa pendant 5 heures ralentit leur développement qui demande un jour supplémentaire pour s'effectuer (6 jours au lieu de 5 sur les milieux témoins). Le Dimboa à la dose utilisée de 0,3 mg donne un poids sec très faible aux chenilles (1,2mg) du milieu germe de blé seul ou germe de blé + cellulose (1,8 mg).

TABLEAU 14

EFFET DISSUASIF DU DIMBOA ADDITIONNE AU MILIEU GERME DE BLE (Les poids sont exprimés en poids sec)

CONSOMMATION ET CROISSANCE					DIGESTION ET UTILISATION		
Gain de poids sec (mg)	Nourriture intégrée (poids secs en mg)	Fèces	CI	GR	ECI	CAD	ECD
(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
MILIEU GERME DE BLE							
1,7048	16,38	10,80	1,5215	0,1583	10,4078	34,0659	30,5519
6,7711	44,71	30,35	2,9794	0,4512	15,1442	32,1180	47,1518
8,5862	33,29	19,53	1,4676	0,3785	25,7915	41,337	62,3982
0,4730	29,72	11,20	1,0921	0,0173	1,5915	62,3149	2,5539
15,8303	107,72	61,08	5,5396	0,8470	42,5272	135,7666	112,1039
17,5351	124,10	71,88	7,0611	1,0053	52,9350	169,8325	142,6558
MILIEU GERME DE BLE + CELLULOSE							
1,8551	19,84	14,86	1,6519	0,1544	9,3503	25,1008	37,2510
10,6852	36,85	22,12	2,0158	0,5840	28,9964	39,9828	72,5403
2,5452	33,28	22,42	1,3367	0,1022	7,6478	32,6322	23,4364
2,8229	33,10	21,34	1,2001	0,1023	8,5283	35,5287	24,0042
16,0533	103,23	65,88	4,5526	0,7890	45,1725	108,1337	119,9808
17,9084	123,07	80,74	6,2045	0,9434	54,5228	133,2345	157,2319

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
MILIEU GERME DE BLE + CELLULOSE + 0,3mg DIMBOA/g MILIEU								
-	1,2113	16,4464	14,48	1,8862	0,1389	7,3651	11,9564	61,5998
T4	6,3796	23,4620	21,82	1,8747	0,5097	27,1912	6,9985	388,5261
48	9,2664	56,1482	31,50	2,7608	0,4556	16,5034	43,8984	37,5946
T2	2,1249	29,4210	15,65	1,1301	0,0816	7,2223	46,8067	15,4301
96	2,1620	19,2132	12,65	0,6818	0,0767	11,2526	34,1598	32,9412
T3	19,9329	128,2444	81,62	6,4474	1,1236	62,1695	131,8634	474,4921
T4	21,1442	144,6908	96,10	8,3336	1,2625	69,5346	143,8198	536,0919

T1 = Somme des valeurs 24 + 48 + 72 heures.

T2 = T1 + 5 heures

T3 = Somme des valeurs 24 + 48 + 72 + 96 heures.

T4 = T3 + 5 heures

La quantité de nourriture ingérée est identique sur milieu germe de blé et sur milieu avec Dimboa mais elle est plus forte avec cellulose; la quantité de fécès est moindre sur germe de blé que sur les 2 autres milieux où il y a égalité. L'indice de consommation est plus fort pour la cellulose que pour le milieu germe de blé et encore plus élevé pour le Dimboa. La cellulose n'agit pas sur la croissance dans cet essai mais l'addition du Dimboa la diminue même quand les chenilles sont alimentées simplement pendant 5 heures. En ce qui concerne la digestion et l'assimilation des milieux, l'E.C.I. et le C.A.D. sont en ordre décroissant pour germe de blé seul, avec cellulose et avec Dimboa respectivement, mais le résultat est inverse dans le cas de l'E.C.D.

Après avoir pris un repas sur le milieu contenant du Dimboa, les chenilles sont nourries à nouveau sur milieu germe de blé. L'addition de Dimboa prolonge la durée du développement et par conséquent le poids des chenilles. On remarque que le poids larvaire est le même pour les deux milieux témoins. L'adjonction de Dimboa montre aussi un indice de consommation plus élevé que les 2 autres milieux ainsi que l'E.C.I. mais le coefficient d'utilisation digestive approximatif (C.A.D.) a presque la même valeur sur le milieu germe de blé témoin et avec Dimboa. L'E.C.D. augmente comme l'E.C.I. dans l'ordre : milieu germe de blé, avec cellulose et avec Dimboa (Tableau 14, T_1). Sur milieu Dimboa, en calculant les sommes basées sur la même durée d'alimentation que sur les 2 autres milieux (24 + 48 + 72 heures), les valeurs deviennent les mêmes pour la plupart des critères et coefficients étudiés sauf pour le C.A.D. qui demeure nettement inférieur et l'E.C.D. qui demeure supérieur.

En ce qui concerne la durée totale d'alimentation (Tableau 14, T_4), on peut voir que si les chenilles sur milieu avec Dimboa mangent plus, elles se développent lentement mais deviennent grosses et lourdes. Les valeurs de l'E.C.I. et l'E.C.D. sont alors toujours plus élevées que sur les 2 autres milieux, tandis que le C.A.D. est plus élevé sur milieu germe de blé.

Discussion

Nous allons discuter en premier lieu ces résultats par comparaison à ceux obtenus dans l'essai précédent concernant l'action du Dimboa sur la consommation et l'utilisation de la nourriture sans jeûne préalable afin de bien mettre en évidence l'effet du jeûne.

Les valeurs de la quantité de fécès par rapport à la quantité de nourriture ingérée nous indiquent une meilleure utilisation du milieu germe de blé, le fait que la cellulose ne soit pas digérée et que le Dimboa diminue les capacités, soit de digestion, soit d'assimilation par l'insecte.

Au niveau de la quantité de nourriture ingérée, les chenilles mises sur milieu Dimboa après un jeûne de 24 heures, mangent autant que sur le milieu témoin.Or, si l'on compare ces résultats à ceux que nous avons obtenus sur ces 2 mêmes milieux sans jeûne préalable, nous voyons qu'alors la prise de nourriture sur milieu traité était de 1/3 de celle sur milieu témoin et moitié de celle sur milieu avec cellulose. Donc l'effet du jeûne sur la prise de nourriture compense l'action dissuasive du Dimboa. La quantité de fécès émise dans ces 2 types d'expériences évolue parallèlement. De même,cette inanition peut augmenter l'appétence alimentaire. Dans le cas d'un jeûne de courte durée, les chenilles pourraient ensuite consommer plus de nourriture.

Par contre, l'indice de consommation (C.I.) augmente dans cette 2ème série d'expériences ce qui signifie que malgré la présence de Dimboa, l'insecte a plus mangé que dans le premier essai. L'E.C.I. diminue ici par rapport à la valeur qu'il avait sans jeûne préalable si on se refère au milieu germe de blé, car malgré la quantité de nourriture ingérée plus importante, l'insecte n'a pas mieux assimilé.

En ce qui concerne les autres coefficients, leur évolution reste identique dans les 2 essais.

Récemment, MATHAVAN et MUTHUKRISHNAN (1976) montrent que l'alimentation sur une période de temps limitée chez les chenilles de Danaus chrysippus est compensée partiellement par une augmentation de taux de la consommation mais n'a pas d'effet sur l'assimilation. Ces effets ne sont pas les mêmes que ceux que nous observons avec le Dimboa dans cette expérience.

En second lieu, nous discutons de l'effet du changement de milieu. Lorsque les chenilles sont alimentées seulement pendant quelques heures sur milieu Dimboa, le résultat est différent de celui obtenu avec la même alimentation du début jusqu'à la fin de l'essai.

Le fait de remettre les chenilles, qui se sont alimentées durant 5 heures sur milieu Dimboa, sur milieu témoin pendant plusieurs jours, ne compense pas l'action défavorable du Dimboa sur la durée de développement. En effet, nous avons vu que celle-ci est augmentée de 24 heures. Par suite l'augmentation de la prise de nourriture et par conséquent un poids plus élevé des chenilles ont été observés. C'est le transfert des chenilles sur le milieu témoin qui est responsable de l'augmentation de poids.

En outre, il se peut qu'à l'effet propre du Dimboa, s'ajoute l'effet du jeûne. Les chenilles sur le milieu ne peuvent pas compenser les effets produits aussi bien que celles sur milieu témoin.

Ici encore, les résultats tendent à montrer que le Dimboa agit au niveau de la digestion de la nourriture.

Les chenilles gardent parfois un peu d'aliments dans l'intestin en période de jeûne, car celui-ci peut affecter le transit intestinal des aliments digérés (CHARARAS, ECHAUBARD et DAVID, 1973 ; LE BERRE et MAINGUET, 1974). Selon l'espèce et la durée de privation, les chenilles ont une capacité différente de reprise de rythme pour avoir une croissance normale. Elles peuvent atteindre un poids identique à celui des chenilles en conditions normales, grâce au développement qui est allongé. BECK (1971)

observé chez Trogoderma glabrum Hbst. que les larves affamées puis remises sur la nourriture atteignent un poids normal et se développent plus vite que celles s'alimentant de façon continuelle.

Nous avons observé que les chenilles de la pyrale du maïs expulsent la plus grande partie du contenu intestinal en 2-3 heures. Elles restent immobiles très peu de temps, mais dès qu'on leur donne de la nourriture, elles goûtent et consomment. Donc les stimulus de chimioréception agissent très activement.

Ce travail complémentaire nous permet de confirmer les effets du Dimboa non seulement sur la prise de nourriture mais aussi sur la digestion des aliments par les chenilles du 5ème stade. Un repas sur milieu contenant du Dimboa agit sur le comportement alimentaire, les informations sensorielles permettant aux chenilles de juger la nourriture. Un passage sans jeûne préalable sur ce milieu pendant 5 h. ne donnera peut-être pas du tout le même résultat car les chenilles peuvent rester sans manger pendant quelque temps si la nourriture est mauvaise. De plus, si on inhibait les parties sensorielles (labre, palpe etc.) elles pourraient peut-être accepter cette nourriture. Donc le Dimboa agit comme dissuasif au début de la prise de nourriture et intervient ensuite sur la digestion.

C) ACTION DE L'INGESTION DU DIMBOA SUR LE MESENTERON DES CHENILLES.

L'ingestion et la digestion de la nourriture contenant des substances chimiques ont fait l'objet d'un certain nombre de travaux chez les insectes phytophages et en particulier chez les lépidoptères. Ainsi MA (1972) a donné à consommer à des chenilles de Pieris brassicae L. des produits chimiques dont il a étudié l'action sur le système nerveux par des techniques électrophysiologiques. Ces substances peuvent agir au niveau du neurone, par une inhibition des récepteurs sensibles aux phagostimulants. Cependant la plupart des travaux portent sur l'acceptation ou le rejet par l'insecte d'un végétal comme plante-hôte. Par conséquent, l'alimentation est prise comme critère pour tester la sensibilité des plantes. Par contre, on

a très peu de renseignements sur la digestion du matériel végétal par les larves. Ces aspects sont très importants dans les relations plantes-insectes.

GORDON (1961) pense que si la résistance aux insecticides de contact des derniers stades larvaires des insectes phytophages est plus élevée, ceci est dû à un stress biochimique prolongé. Ce stress est d'autant plus fréquent que la diversité des plantes-hôtes est grande.

En 1929, METALNIKOV et CHORINE montraient que parmi d'autres raisons, la destruction de bactéries par digestion intracellulaire est responsable de l'immunité des chenilles d'O. nubilalis vis-à-vis de ces bactéries. Récemment, GONINDRAJAN, JAYARAJ et NARAYANAN (1975) observent une insensibilité à Bacillus thuringiensis de Spodoptera litura F. Ils pensent à une substance inconnue chimiquement qui se trouverait dans le tube digestif des chenilles et qui serait responsable de cette inhibition. Si les travaux sur les phénomènes de sensibilité ou de résistance aux pesticides sont connus chez les insectes phytophages, cet aspect n'est pas encore étudié concernant les substances allélochimiques qui se trouvent dans les plantes.

Rappelons que parmi celles-ci le Dimboa produit des perturbations au niveau des caractères physiologiques par l'intermédiare de l'alimentation. Ainsi BECK (1960) pense que le RTA inhibe la croissance par une interférence métabolique plutôt que par des effets toxiques au niveau de l'alimentation. Nous avons aussi pu montrer que le Dimboa agit comme dissuasif. Il réduit la consommation et l'utilisation de la nourriture par les derniers stades larvaires de la pyrale, en affectant surtout la digestion.

La plus grande partie de la digestion se fait dans le mésentéron chez les chenilles de la pyrale du maïs (VILKOVA, 1975) comme chez beaucoup de larves. Ainsi, notre but était de voir si l'anatomie du mésentéron présentait des modifications structurales importantes après l'ingestion du milieu contenant du Dimboa à faible dose. Nous avons étudié ce problème par un examen histologique du mésentéron.

Mode opératoire

1. Elevage de l'insecte.

Aussitôt après la troisième mue, des chenilles sont mises en élevage sur milieu à base de germe de blé ou soumises à l'intoxication par le Dimboa incorporé à faible dose (0,3 mg/g de milieu) pendant deux jours. Ensuite les chenilles saines et traitées, de même âge, affamées pendant 2 heures sont ensuite prélevées pour les études histologiques. Nous avons choisi le 4ème stade car le prélèvement du tube digestif s'avère plus facile au niveau de ce stade. De plus, la taille des chenilles entières est intervenue dans ce choix, pour faire des coupes in toto.

2. Techniques histologiques.

a) organe prélevé.

L'intestin moyen est prélevé par dissection dans une solution de Ringer et plongé immédiatement dans les liquides fixateurs : le Bouin alcoolique ou le liquide de Helly. La durée de la fixation est de 6 heures dans les 2 fixateurs. Après inclusion à la paraffine, les organes sont coupés à une épaisseur de 5 µ. Les coupes sont sagittales, longitudinales ou transversale

Afin d'observer les cellules du mésentéron, nous avons utilisé 2 types de colorations.

1) des colorations topographiques (le Glychemalun de Mayer-Eosine et l'Hématoxyline-Eosine).
2) des colorations cytologiques (Rouge ponceau-Bleu de Heidenhain Fast green-safranine, Azan-modifié (POLICARD, BESSIS et LOQUIN, 1957).

b) Individu entier.

Les chenilles ont été fixées pendant 24 h. par immersio dans le Bouin alcoolique ; 12 h. après le début de la fixation, la chenille a été décapitée afin de permettre au fixateur de mieux pénétrer. Ensuite, 48 h. après la décapitation, les chenilles ont été déshydratées et conservées dans l'alcool butylique pendant une semaine. Les coupes faites à 6 µ d'épaisse

sont traitées par les mêmes colorations que celles utilisées pour les organes prélevés et selon les mêmes plans de coupe.

Les photographies, faites en lumière normale, sont prises avec un appareil LEITZ Orthoplan automat.

Résultats.

Le mésentéron se présente chez la pyrale du maïs comme un tube droit et légèrement plissé. On remarque une petite construction à sa jonction avec le proctodeum au niveau des tubes de Malpighi. L'intestin moyen occupe approximativement 80% de la longueur totale du tube digestif et 75% de la longueur du corps.

Dans un premier temps, nous décrivons l'anatomie du mésentéron des chenilles non traitées. Ensuite nous comparons les structures des témoins à celles des chenilles intoxiquées par le Dimboa.

L'épithélium intestinal est formé essentiellement de cellules "cylindriques" que nous appelons ainsi car elles ressemblent beaucoup à celles décrites par PLANTEVIN et NARDON (1970) chez Galleria mellonella. Elles mesurent en moyenne 104 μ. On note souvent de grandes vacuoles . La bordure striée est difficile à distinguer. Les cellules reposent sur une membrane basale bien distincte. La membrane péritrophique est largement décollée de la région apicale des cellules ; elle entoure le contenu intestinal. L'épithélium est constitué d'une seule couche de cellules. Il est à remarquer qu'il existe un bourgeonnement apical des cellules cylindriques qui est ici très net (Fig. 9 et 10).

Chez les chenilles intoxiquées par le Dimboa, on ne note pas de différence dans la taille ou la forme des cellules. Par contre, on constate que la partie apicale est arasée (Fig. 11 et 12). Il se peut que la croissance des cellules en soit affectée. En outre, la membrane péritrophique a un contour plus marqué et le contenu intestinal est plus dense.

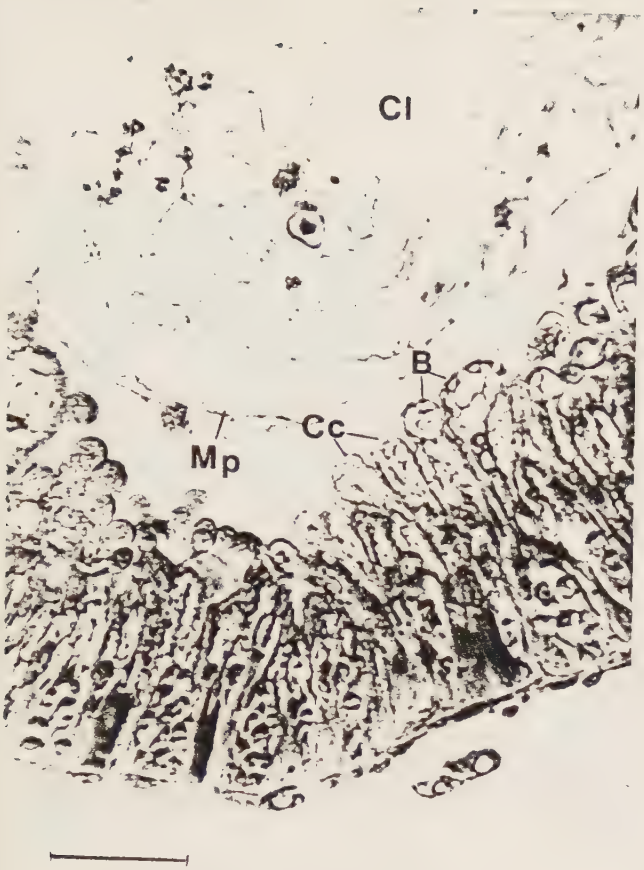


Fig. 9 Coupe transversale du mésentéron d'une chenille témoi

CI = Contenu intestinal
Mp = Membrane péritrophique
Cc = Cellule cylindrique
B = Bourgeonnement

(l'échelle est représentée par un trait dont la longueur est égale à 56 µ)

Fig. 10 Vue à fort grossissement des cellules cylindriques.

(le niveau de coupe n'est pas rigoureusement transversal)

(l'échelle est représentée par un trait dont la longueur est égale à 25 µ)

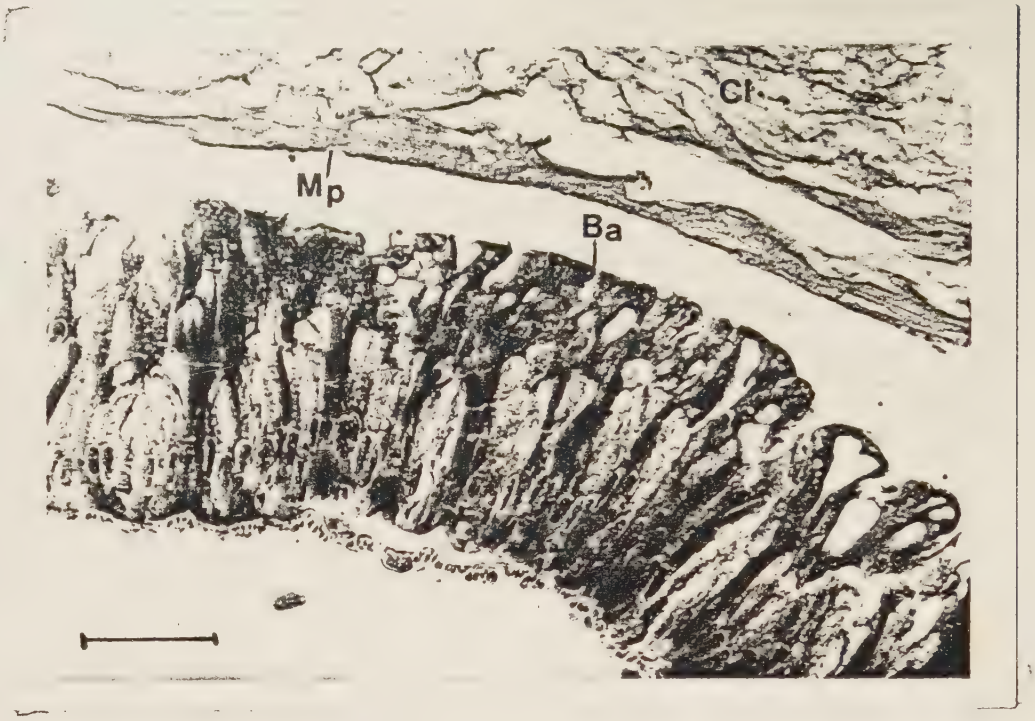


Fig. 11 Coupe transversale du mésentéron d'une chenille intoxiquée.

(l'échelle est représentée par un trait dont la longueur est égale à 5

Ba = Bourgeonnement arasé

Fig. 12 Vue à fort grossissement des cellules cylindriques.

(l'échelle est représentée par un trait dont la longueur est égale à 25μ)

Discussion.

Plusieurs auteurs ont signalé la richesse en enzymes du mésentéron. KRIEGER, FEENY et WILKINSON (1971) montrent que l'activité microsomique de la dégradation chez les chenilles de plusieurs espèces de lépidoptères se passe dans l'intestin moyen. Ainsi, chez la pyrale du maïs, VILKOVA (1975) note une activité de plusieurs enzymes digestifs tels que , α-amylase, monoglyceridipase et deux protéases. De même BECK, LILLY et STAUFFER (1949) décèlent une protéase, une peptidase une lipase et une invertase.

Dans la présente étude, nous constatons que la membrane péritrophique est plus marquée chez les individus traités. Nous pouvons supposer que la structure de cette membrane s'est modifié sous l'effet du Dimboa. Par conséquent la membrane pourrait freiner l'action des enzymes digestifs signalés par les auteurs précedents. Ceci expliquerait l'aspect plus dense du contenu intestinal des chenilles intoxiquées, correspondant à une digesti moins avancée que chez les témoins.

VILKOVA (1975) avait constaté que la digestion est incomplète chez les chenilles d'O. nubilalis saines et que cette situation était compensée par une prise de nourriture répétée. Or nous avons montré que le Dimboa agissait sur la prise de nourritu et la croissance des chenilles. Si l'on replace nos observations dans les résultats émis par VILKOVA (1975), les chenilles intoxiquées par le Dimboa ne doivent pas compenser une digestion déjà incomplète par suite de la diminution de l'efficacité de leurs enzymes par une prise de nourriture que nous avons constaté plus faible.

Nous venons de supposer que l'action des enzymes était affaiblie par la présence de la membrane péritrophique dont la structure semble modifiée. Mais une seconde hypothèse peut se présenter à l'esprit : le Dimboa peut agir directement sur l'activité secrétoire des cellules digestives en diminuant la quantité d'enzymes émis. En étudiant le métabolisme de la benzoxazoline, BRAY, CLOWES et THORPE (1952) remarquent que ces substances peuvent empêcher l'hydroxylation initiale des enzymes.

Compte tenu que le Dimboa diminue la prise de nourriture et la croissance mais n'entraîne pas de mortalité, on peut suggérer que les chenilles intoxiquées ont acquis une résistance à cette substance, utilisée à faible dose par suite d'une dégradation par les enzymes digestifs; Une hypothèse identique a été avancée par PARR et THURSTON (1972). Ces auteurs montrent que les chenilles de Manduca sexta Johan. se développent lentement sur milieu contenant plus de 1,5% de nicotine mais qu'une teneur faible n'a pas d'effet défavorable. Ils pensent que la résistance des chenilles à cet alcaloide est très grande car les feuilles du tabac contiennent seulement 0,1 - 0,5% de nicotine.

Il serait souhaitable d'étudier les effets du Dimboa sur les enzymes digestifs des chenilles de la pyrale du maïs et inversement l'action des enzymes sur le métabolisme du Dimboa. Ces deux aspects semblent importants dans la compréhension de la physiologie de la digestion chez les chenilles intoxiquées.

Si les actions histopathologiques des insecticides (PILAT, 1935 ; BROWN, 1963) MARTOURET, L HOSTE et ROCHE, 1965) et aussi des autres facteurs, tels que l'irradiation, les substanc inhibitrices d'alimentation (RIEMANN et FLINT, 1967 ; ABO-ELGHAR et RADWAN, 1971) sont connues, celles des substances allélochimiques se trouvant dans les plantes-hôtes sont encore à étudier.

TOPPOZADA et coll. (1968) ont étudié les effets histopathologiques des insecticides (notamment, carbaryl, parathion, D.D.T., endrin sur les larves de Spodoptera littorali Boisd. Ces auteurs constatent un allongement des cellules de l'épithélium qui pourrait être dû, selon eux, à un gonflement lié à une activité hypersecrétoire. De plus, ils pensent que cette activité du tube digestif agit parfois comme un moyen de défense contre les inhibiteurs. KRIEGER, FEENY et WILKINSON (1971) ont aussi l'opinion que des enzymes (oxydase microsomique) chez les insectes polyphages ont la fonction naturelle de dégrader les substances naturelles présentes dans les plantes-hôtes.

Les observations histologiques du mésentéron des chenilles intoxiquées nous ont permis d'émettre 2 hypothèses sur le mode d'action du Dimboa sur l'épithélium de l'intestin moyen. Première hypothèse : le Dimboa diminue la secrétion des enzymes digestifs. Deuxième hypothèse : c'est la modification structurale de la membrane péritrophique qui freine le passage des enzymes digestifs dans le contenu intestinal. La digestion est moins avancée, ce qui apparaît sur les coupes par un contenu intestinal plus dense. Ainsi l'assimilation et par suite la croissance doivent s'en trouver réduites chez les chenilles intoxiquées.

D) CONCLUSIONS

Après avoir étudié les effets du Dimboa sur les caractères biologiques par l'intermédiaire des tissus résistants du maïs, les expériences portant sur la prise de nourriture et l'examen histologique du mésentéron mettent en évidence un certain nombre de phénomènes. Il serait intéressant de connaître le métabolisme de cette substance pour analyser les causes et la signification de la résistance du maïs à cet insecte et des chenilles, elles-mêmes.

Il nous a fallu purifier ce produit à partir d'extraction de feuilles de maïs car les tissus interviennent dan le comportement alimentaire et peut être y aurait-il un effet au niveau de la prise de nourriture en raison des phagostimulants se trouvant dans le maïs. La comparaison de la consommation et l'utilisation des milieux témoins et ceux contenant de la cellulose ou différentes doses du Dimboa, nous permet de conclure que la cellulose intervient dans la consommation et qu'elle n'est pas digérée. Le Dimboa agit comme dissuasif et pendant une longue durée les chenilles consomment de moins en moins le milieu qui en contient. A ce sujet, nous avons vu que le comportement alimentaire des chenilles intervient aussi si les chenilles sont affamées pendant 24 heures.

Nous avons tenté de vérifier à l'aide d'études histologiques que c'est la digestion qui est le processus le plus affecté. On constate en particulier que la membrane péritrophique est plus marquée et le contenu intestinal plus dense. Ce phénomène ne permet peut être pas aux nutriments de gagner la paroi intestinale. Ceci joue probablement sur les éléments enzymatiques qui sont très importants dans la physiologi de la digestion. Peut être y-a-t-il aussi une action du Dimboa sur d'autres tissus ou sur la composition chimique. De plus, une étude portant sur l'histochimie pour connaître les effets du Dimboa sur les secrétions enzymatiques pourrait être envisagée afin d'éclaircir les aspects métaboliques et aussi l'inefficacité du Dimboa à faible dose, liée peut être à une détoxification par les chenilles âgées d'O.nubilalis.

Nous pourrions également prolonger la durée du développement des chenilles par leur alimentation sur les lignées résistantes produisant ainsi une perturbation dans leur cycle. Enfin, cette substance pourrait être utilisée comme "insecticide."

CONCLUSIONS GENERALES

Le présent travail consacré d'une part à l'étude biologique de la pyrale du maïs en relation avec son alimentation et d'autre part avec la résistance du maïs à cet insecte a permis d'approfondir les connaissances relatives à ces sujets. Il aborde sous un nouvel aspect l'étude de la physiologie de la digestion. Les points importants à prendre en considération pour améliorer l'efficacité des moyens mis en oeuvre dans la lutte contre ce ravageur sont précisés dans les différents chapitres.

L'expérimentation sur l'alimentation nous a permis de connaître les effets nutritionnels très précisément, de même que nous avons pu améliorer les techniques et les milieux simples permettant une production permanante ou massive d'insec Les relations entre divers paramètres larvaires et nymphaux et leurs effets sur la fécondité nous renseignent sur la dynamique de la population : ceci permet entre autre d'améliorer la production au laboratoire. Les intéractions entre les milieux d'alimentation et les tissus du maïs sont étudiées. Sans doute serait-il utile également d'examiner en détail la physiologie de la nutrition pour tous les milieux utilisés et les comparer. Ces travaux restent à faire.

Les résultats obtenus sur les caractères biologiques peuvent servir non seulement à mieux connaître la physiologie de l'insecte, mais aussi à nous guider vers des solutions rationnelles pour réduire la population de ce ravageur en faisant appel à la lutte intégrée (PRATT, HOUSE et MANSINGH, 1972, CHIANG, 1975, GAHUKAR, 1976 d). Cet aspect semble particulièrement important à étudier en ce qui concerne la pyrale du maïs. Il semble parfois difficile d'associer tous les moyens disponibles ; on peut alors adopter le moyen de lutte le plus efficace. La résistance variétale du maïs en est un exemple. L'augmentation de la production agricole résulte en grande partie de l'utilisation des engrais chimiques, des pesticides et des hybrides, mais ce succès laisse de côté le

plus souvent des problèmes considérés comme secondaires (pollution, résistance des insectes aux pesticides etc..). Dans les décades précédentes, les hybrides étaient considérés surtout d'un point de vue rendement agricole. Depuis quelques années, on s'intéresse, en plus, aux caractères "sensibilité ou résistance" aux insectes et aux maladies. Une priorité doit donc être accordée aux travaux portant sur la résistance des plantes. Ce type de travail est en cours pour O.nubilalis dans le cadre d'un Groupe International créé en 1969 et constitué par 15 pays d'Europe, d'Amérique et d'Asie. Les lignées ou hybrides de chacun des pays sont testées dans chaque pays participant et les résultats sont diffusés par les soins de l'Académie des Sciences de Hongrie (INTERN. WORKING GROUP, 1973, 1975). Cette coopération peut être étendue à d'autres travaux de recherches sur la résistance aux autres insectes ravageurs du maïs et aussi aux études sur d'autres cultures importantes.

On sait que la résistance du maïs à la pyrale est due principalement à la présence et à la teneur de Dimboa dans les tissus; les efforts sont principalement à porter vers une augmentation de cette teneur dans les lignées indigènes ou exotiques par sélection ou hybridation. Il faut rappeler que les lignées résistantes peuvent l'être envers d'autres ravageurs et champignons. Dans les lignées et des hybrides, HUBER et STRINGFIELD (1942) et BARY (1969) ont montré une relation positive et significative entre la résistance à la pyrale et celle au puceron, Rhopalosiphum maidis Fitch. Selon GUTHRIE et WALTER (1961), ce type de relation n'est pas régulièrement constant dans le cas de lignées de maïs sucré vis-à-vis de la pyrale et de la noctuelle, Heliothis zea Boddie.

Parmi les inhibiteurs de croissance des insectes, on a mis en évidence les benzoxazolinones qui agissent chez Blattella germanica L., Prodenia eridiana Cram. (BECK et STAUFFER, 1957), Galleria mellonella L. (BECK et SMISSMAN, 1961) contre les champignons comme, Fusarium nivale (Fr.) Ces. (VIRTANEN et HIETALA, 1955), F. moniliforme Scheld. (WHITNEY et MARTIMER, 1959). F. graminearum Schw. (CHIANG, 1965),

Penicillium chrysogenum Thom (BECK et STAUFFER, 1957); BECK et SMISSMAN, 1961), Diplodia zeae (Schw.) Lév. (LOOMIS, BECK et STAUFFER, 1957; WHITNEY et MARTIMER, 1959; BEMILLER et PAPPELIS, 1965; CHIANG, 1965), Giberrella zeae (Schw.) Petch (WHITNEY et MARTIMER, 1959), Rhizopus stolonifer (Ehrenb. ex Fr.) Lind (BECK et STAUFFER, 1957), Sclerotinia trifoliorum Eriks (VIRTANEN et HIETALA, 1955), Pyrenochaeta terrestris (Hans) Gerenz, Walker et Larson (WHITNEY et MARTIMOR, 1959), Puccinia graminis Pers. (ELNAGHY et LINKO, 1962), Helminthosporium turcicum Pass. (ANGLADE et MOLOT,1967 b) H.maydis Nisikado et Miyake (DAWE, 1974); contre les bactéries comme Staphylococcus aureus Rosenbach (BECK et STAUFFER, 1957). De plus, ces dérivés joueraient un rôle dans la détoxification des triazines chez le maïs (ROTH et KNUSLI, 1961). Il existe une relation de sensibilité à la pyrale et aux microorganismes qui provoquent la pourriture des tiges (stalk rot) du maïs. (CHRISTENSEN et SCHNEIDER, 1950; WHITNEY et MARTIMORE, 1959) CHIANG et WILCOXSON, 1961; VIRTANEN, 1961). CHEZ et HUDON (1976) testent actuellement des hybrides en fonction de leur sensibilité à la fois contre O.nubilalis et contre un champignon, Kabatiella zeae Narita et Hiratsuka. Il est donc utile que les critères retenus dans l'examen de la sensibilité puissent l'être en relation avec les autres ravageurs et maladie du maïs.

Pourquoi le Dimboa agit-il davantage contre la pyrale du maïs que contre les autres insectes? Peut-être y a-t-il un mécanisme physiologique chez cet insecte qui le rend plus sensible. D'autre part, pourquoi les chenilles des derniers stades ne meurent-elles pas par l'action d'une concentration faible de Dimboa? Beaucoup de travaux ont été entrepris sur la résistance des insectes aux pesticides mais la résistance des insectes aux substances naturelles tel le Dimboa n'est que peu étudiée.

L'hypothèse que dans l'avenir le Dimboa puisse être utilisé comme insecticide existe, car ses effets sur la biologie et la physiologie de la nutrition sont significatifs. On pourrai

augmenter la teneur de cette substance dans les lignées non seulement par hybridation ou sélection mais aussi peut être par pulvérisation sur les lignées sensibles. Cependant la stabilité dans les conditions naturelles, la synthèse industrielle etc.. sont des problèmes difficiles à résoudre. Ces produits seraient un moyen efficace pour augmenter la production agricole sans aucun danger pour l'environnement; mais il conviendrait d'étudier probablement leur action vis-à-vis des insectes utiles.

R E S U M E

Actuellement la distribution géographique de la pyrale du maïs s'élargit d'année en année. En outre, les dégâts causés par les chenilles provoquent une perte importante en qualité et en quantité de la récolte de maïs, ainsi que de celle d'autres plantes, notamment, le chanvre, le houblon et le piment. Les aspects biologiques de la pyrale, en relation avec son hôte principal Zea mays L. font l'objet de recherches concernant la nutrition de cet insecte et la résistance du maïs. Actuellement, la plupart des travaux sont basés sur l'amélioratio de la résistance. L'étude des besoins nutritionnels (qualitatifs et quantitatifs) qui diffèrent selon les stades larvaires, ont permis premièrement de connaître l'utilisation de la plante-hôte par l'insecte et deuxièmement, de mettre au point la fabrication de milieux artificiels.

Parmi plusieurs milieux testés, un milieu à base de semoule de maïs donnant un bon résultat dans les élevages de plusieurs espèces de Noctuidae, a été essayé avec des techniques simples de présentation aux chenilles et avec un léger changement de la formule de fabrication. Ce milieu nous permet d'avoir une production permanente ou de masse selon le cas. La survie (72-92%) et la durée de l'évolution des larves (17 jours en moyenne), le rendement en adultes normalement constitués (65-75%), la fécondité (12 ooplaques/femelle) et la sex-ratio (1 : 0,95 : M/F) constituent des résultats satisfaisants qui nous encouragent à maintenir l'élevage de l'insecte selon la méthode adoptée.

Ensuite, nous comparons systématiquement en élevage individuel pendant 3 générations successives les milieux déjà décrits et utilisés par ailleurs avec les nouveaux que nous essayons. Nous observons leurs effets sur la biologie d'une part et les interactions entre milieux et générations d'autre part.

Si les données sur la durée de développement des larves et des nymphes, poids nymphal et fécondité des femelles montrent qu'il existe une interaction entre milieux, générations et sexe, le milieu d'alimentation des chenilles a une grande importance. On observe une différence significative dans les taux du développement et la reproduction dans chaque cas. Le milieu contenant du germe de blé se révèle le meilleur et les autres milieux en ordre de performance sont : à base de semoule de maïs de grain entier, de poudre de luzerne, de semoule de maïs du commerce et de grains de haricots. Cependant, la mortalité nymphale et la viabilité des oeufs ne sont pas affectées même dans le cas du dernier milieu dont la performance inférieure est attribuée à une insuffisance nutritive. En considérant prix, simplicité de préparation et disponibilité des constituants, le milieu à base de semoule de maïs de grain entier est à retenir pour l'élevage de la pyrale.

Nous avons également montré que les 5 milieux peuvent agir différemment les uns et les autres sur les caractère physiologiques. Nous avons mis en évidence, entre divers paramètres larvaires et nymphaux (durée de vie, poids etc.), des relations linéaires plus ou moins significatives selon le sexe et le milieu d'alimentation des chenilles. En outre, ces paramètres ont été comparés avec la fécondité des femelles. Ceci nous a permis de contrôler la production de l'élevage dans les conditions de laboratoire, d'une part et d'étudier les effets propres à l'alimentation des chenilles d'autre part. De plus, la relation entre le nombre des oeufs pondus par la femelle (y) et le poids nymphal (X1) (par exemple, $y = -106,86 + 4,68\ X1$) dans le cas de milieu à base de germe de blé, peut être prise en considération pour la prédiction de l'évolution des populations dans la nature.

Afin d'évaluer les effets d'une alimentation prolongée sur la biologie, l'élevage individuel sur 2 milieux (à base de germe de blé et de haricot) a été poursuivi pendant 8 générations

---

X L'élevage pendant 8 générations ne modifie pas la plupart des caractères biologiques sauf la fécondité qui diminue lors des dernières générations.

successives et nous avons noté que le premier milieu montre toujours un bon résultat alors que le deuxième a un effet défavorable. Puisque la qualité de l'alimentation des chenilles influe sur les caractères physiologiques, nous avons essayé d'améliorer le milieu "haricot" à l'aide d'un mélange vitaminique "la Pangamine" provenant de Tchécoslovaquie. Cette supplémentation nous a conduit à un résultat satisfaisant et nous pouvons le recommander pour l'élevage en masse de la pyrale.

D'un autre côté, les effets dûs à l'alimentation prolongée sur les milieux nutritifs artificiels ont été étudiés. A cet égard, nous avons constaté grâce à l'infestation artificielle au champ de 2 lignées de maïs WF9 et CI 31 A connues comme sensibles et résistantes respectivement que les Pyrales élevées sur milieu à base de semoule de maïs pendant 20 générations successives sont moins virulentes que celles provenant de la nature. Si les raisons de cet affaiblissement peuvent aussi bien être d'origine génétique que pathologique, il en ressort qu'une telle souche ne peut être utilisée sans risque pour les tests de résistance de lignées de maïs.

La concentration du Dimboa, indicateur de la résistance du Maïs (2,4 - dihydroxy - 7 - méthoxy - 1 - 4 - benzoxazin - 3 - one) est assez aisément évaluée par dosages, mais le métabolisme de cette substance n'est pas encore bien défini.

L'analyse des cornets et des feuilles à l'aide des techniques chromatographique et colorimétrique montre que la concentration de Dimboa est plus forte dans les cornets que dans les feuilles. La lignée CI 31 A montre une teneur en Dimboa nettement plus élevée que la lignée WF9. Cette teneur diminue au fur et à mesure de la croissance selon les stades phénologiques - cornet jeune (early-whorl), cornet d'âge moyen (mid-whorl), et cornet âgé (late-whorl), quels que soient la lignée et les organes prélevés.

Cependant les tissus du maïs (lyophilisés et réduits en poudre) ajoutés aux milieux à base de germe de blé et de haricots n'influent pas sur le comportement alimentaire des chenilles nouveaux-nées qui sont toujours attirées vers ces

milieux ; par contre, l'addition dans les milieux de Dimboa purifié agit comme dissuasif alimentaire. En plus, cette substance intervient comme inhibiteur de croissance. Les tissus résistants du maïs incorporés dans deux milieux agissent sur les caractères physiologiques de la pyrale, surtout vis-à-vis de la mortalité et de la durée de vie larvaire, le poids nymphal et la fécondité des femelles.

Quant à la virulence des souches comprenant celle du laboratoire et 2 écotypes (Colmar et Pierrelatte provenant des régions de France ayant respectivement une ou deux générations de la pyrale par an), elles se classent en ordre décroissant selon les origines : Colmar, Pierrelatte et Laboratoire.

La consommation de la nourriture par les chenilles de dernier stade est réduite par l'addition de Dimboa dans les milieux. En plus, cette substance a des répercussions sur le mésenteron (étude histologique). Donc le Dimboa agit comme inhibiteur et peut être utilisé à l'avenir comme un agent chimique dans la lutte contre la pyrale, si l'on peut résoudre le double problème de la synthèse et de la production industrielle de cette substance.

Les présentes études nous suggèrent, également, d'évaluer et d'augmenter la teneur en Dimboa dans les lignées ou les hybrides de maïs, car les travaux antérieurs ont bien expliqué les relations entre la pyrale et le maïs,même si actuellement le degré de sensibilité des lignées existant dans les différents pays est encore mal connu. De plus,la recherche sur les lignées doit être menée non seulement contre les attaques du type "première génération", mais aussi contre celle du type "deuxième génération". Le dégât causé par les chenilles doit être relié à l'évaluation chimique du Dimboa.

Ces techniques nous aideront dans la pratique pour évaluer la vigueur des écotypes de la pyrale et le degré de sensibilité à l'attaque, des lignées de maïs.

Ainsi l'amélioration de la résistance par la sélection ou l'hybridation des lignées indigènes ou exotiques sera-t-elle valorisée.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABO-ELGHAR M.R. et RADWAN H., 1971.- Toxicological, chemosterilant , and histopathological effects of triphenyl tin hydroxide on Spodoptera littoralis Boisd. Acta Phytopathol. Acad. Sci. Hung, 6 : 261-280.

ALIFCRET P.,1975.- Action sur l'ovaire du Lépidoptère pyralide Galleria mellonella L. d'un jeûne protidique précoce et prolongé, réduction du nombre des ovarioles. C.R. Soc. Biol., 169 : 399-403.

ANDREW, R.H. et CARLSON J.R., 1976.- Preferences differences of egg laying European corn borer adults among maize genotypes. Hort. Sci.11 : 143.

ANGLADE P. et MOLOT P.M., 1967a. Facteurs biochimiques de résistance du Maïs communs à certain insectes et cryptogames pathogènes. Meded. Rijiksfac. Landwet. Gent, 32 : 328-334.

ANGLADE P. et MOLOT P.M., 1967b.- Mise en évidence d'une relation entre les sensibilités des lignées de Maïs à la Pyrale (Ostrinia nubilalis Hbn.) et à l'helminthosporiose (Helminthosporium turcicum Pass.). Ann. Epiphyties, 18 : 279-284.

BARNEY W.P. et ROCK G.C., 1975.- Consumption and utilization by the Mexican bean beetle of soybean plants varying in level of resistance. J. econ. Entomol., 68 : 497-502.

BARRY B.D., 1969.- European corn borer and corn leaf aphid resistance in corn hybrids. Ohio agric. Res. Develop. Cent. Res. Cir. no 174 : 8pp.

BATCHELDER C.H., 1946.- Growth stages of corn as related to European corn borer infestation. U.S.D.A. Bull. Et., 232 : 8pp.

BECK S., 1950.- Nutrition of the European corn borer, Pyrausta nubilalis (Hübner). II. Some effects of diet on larval growth characteristics. Physiol. Zool., 23 : 353-361.

BECK S.D., 1951.- Nutritional aspects of host plant resistance to the European corn borer. Proc. North Central Amer. Assoc. Econ. Entomol., 6 : 58.

BECK S.D., 1953.- Nutrition of the European corn borer, Pyrausta nubilalis (Hübner). III. An unidentified dietary factor required for larval growth. J. Gen. Physiol. 36 : 317-325.

BECK S., 1956a.- Nutrition of the European corn borer, Pyrausta nubilalis (Hübner). IV. Feeding reactions of first instar larvae. Ann. Entomol. Soc. Amer., 49 : 388-405.

BECK S.D., 1956b.- The European corn borer Pyrausta nubilalis (Hübn.) and its principal host plant. II. The influence of nutritional factors on larval establishment and development on the corn plant. Ann. Entomol. Soc. Amer., 49 : 582-587.

BECK S.D., 1956c.- The European corn borer, Pyrausta nubilalis (Hübner), and its principal host plant. I. Orientation and feeding behaviour of the larvae on corn plant. Ann. Entomol. Soc. Amer., 49 : 552-558.

BECK S.D., 1957a.- The European corn borer, Pyrausta nubilalis (Hübn.) and its principal host plant. IV. Larval saccharotropism and host plant resistance. Ann. Entomol. Soc. Amer., 50 : 247-250.

BECK S.D., 1957b.- The European corn borer, Pyrausta nubilalis (Hübn.) and its principal host plant. VI. Host plant resistance to larval establishment. J. Insect Physiol., 1 : 158-177.

BECK S.D., 1960.- The European corn borer, Pyrausta nubilalis (Hübn.), and its principal host plant. VII. Larval feeding behaviour and host plant resistance. Ann. Entomol. Soc. Amer., 53 : 206-212.

BECK S.D., 1965.- Resistance of plants to insects. Ann. Rev. Entomol., 10 : 207-232.

BECK S.D., 1967.- Water intake and the termination of diapause in the European corn borer, Ostrinia nubilalis. J. Insect Physiol., 13 : 739-750.

BECK S.D., 1971.- Growth and retrogression in the larvae of Trogoderma glabrum (Coleoptera : Dermestidae). 2. Factors influencing pupation. Ann. Entomol. Soc. Amer., 64 : 946-949.

BECK S.D., 1972.- Nutrition, adaptation and environment. In Insect and mite nutrition. Rodriguez, J.G. (Ed.) p. 1-6. North Holland Publ. Comp. Amsterdam-London.

BECK S.D., 1974.- Theoretical aspects of host plant specificity in insects. In Proc. Biol. Control of plant pests and diseases. Maxwell, F.G. et Harris F.A. (Eds.) p. 290-311. Univ. Press. Mississipi (U.S.A.)

BECK S.D., CHIPPENDALE G.M., et SWINTON D.E., 1968.- Nutrition of the European corn borer, Pyrausta nubilalis (Hbn.). I. Development of a satisfactory purified diet for normal growth. Ann. Entomol. Soc. Amer., 42 : 483-496.

BECK S.D. et HANEC W., 1958.- Effect of amino acids on feeding behaviour of the European corn borer, Pyrausta nubilalis (Hübn.). J. insect Physiol., 2 : 85-86.

BECK S.D., KASKE E.T. et SMISSMAN E.E., 1957.- Quantitative estimation of resistance factor 6 methoxy benzoxazolinone in corn tissue. J. Agric. Food. Chem., 5 : 933-935.

BECK S.D. et LILLY J.H., 1949.- Report on European corn borer resistance investigations. Iowa State J. Sci., 23 : 249-259.

BECK S.D., LILLY J.H. et STAUFFER J.F., 1949.- Nutrition of the European corn borer, Pyrausta nubilalis (Hbn.). I. Development of a satisfactory purified diet for larval growth. Ann. Entomol. Soc. Amer., 42 : 483-496.

BECK S.D. et REESE J.C., 1976.- Insects plants interactions : Nutrition and metabolism. Recent Adv. Phytochem. (Biochemical interactions between plants and insects) 10 : 41-92.

BECK S.D., et SMISSMAN E.E., 1960.- The European corn borer, Pyrausta nubilalis (Hbn.) and its principal host plant. VIII. Laboratory evaluation of host plant resistance to larval growth and survival. Ann. Entomol. Soc. Amer., 53 : 755-762.

BECK S.D. et SMISSMAN E.E., 1961.- The European corn borer, Pyrausta nubilalis (Hbn.), and its principal host plant. IX. Biological activity of chemical analogs of corn resistance factor(A6.methoxy-benzoxazolinone). Ann. Entomol. Soc. Amer. 54 : 53-59.

BECK S.D. et STAUFFER J.F., 1950.- An aseptic method for rearing European corn borer larvae. J. econ. Entomol., 43 : 4-6.

BECK S.D. et STAUFFER J.F., 1957.- The European corn borer, Pyrausta nubilalis (Hbn.) and its principal host plant. III. Toxic factor influencing larval establishment Ann. Entomol. Soc. Amer. 50 : 166-170.

BECTON A.J., GEORGE B.W. et BRINDLEY T.A., 1962.- Continuous rearing of European corn borer larvae on artificial medium. Iowa State J. Sci., 37 : 163-172.

BEIL G.M., 1976.- An alternate diet for production of European corn borer egg masses. Ann. plant resistance to insect pests news letter, 2 : 17-19.

BELL M.E., 1955.- Histology of the maize plant in relation to corn borer infestati Iowa State J. Sci., 29 : 373-375.

BEMILLER J.N., et PAPPELIS A.J., 1965.- 2,4-dihydrozy-7-methoxy-1, 4-benzoxazin-3- one glycoside in corn. I. Relation of water soluble, 1-butanol glycoside fraction concent of pith cores and stalk rot resistance. Phytopathol., 55 : 1237-1243.

BERNSTEIN I.A., 1971.- Biochemical responses to environmental stress. Plenum Press, New York.

BIRCH L.C., 1953.- Experimental background of the study of the distribution and the abundance of insect . II. The relation between innate capacity for increase in numbers and the abundance of three grain beetles in an experimental population. Ecol. , 34 : 712-726.

BOSQUET G., 1973.- Influence de l'apport de glucides et d'acides aminés sur le métabolisme respiratoire de Bombyx mori aujeûne. Ann. Nutr. Alim., 27 : 233-248.

BOTTGER G.T., 1937.- Physiological effects of nutrients in food plants supplied to the European corn borer. U.S.D.A. Bur. Entomol. Plant Quaran. Newsletter, 4 : 6.

BOTTGER G.T., 1940.- Preliminary studies of the nutritive requirements of the European corn borer. J. Agric. Res., 60 : 249-257.

BOTTGER G.T., 1942.- Developments of synthetic food media for use in nutrition studies of the European corn borer. J. Agric. Res., 65 : 493-500.

BOTTGER G.T., 1951.- Sugar and protein in the corn plant as related to nutrition of the European corn borer. J. econ. Entomol., 44 : 40-44.

BOWMAN M.L., BEROZA M. et KLUN J.A., 1968.- Spectrophotoflurometric determination of 6-methoxy-2-benzoxazolinone, an indicator of resistance to European corn borer in Zea mays. J. econ. Entomol., 61 : 120-123.

BRAY H.G., CLOWES R.C. et THORPE W.V., 1952.- The metabolism of aminophenols, O-formamidophenol, benzoxazole, 2-methyl and 2-phenyl benzoxazoles and benzoxazolone in the rabbit. Biochem. J., 51 : 70-80.

BRENDENBERG, J., HONKANEN E. et VIRTANEN A.I., 1962. The kinetics and mechanism of decomposition of 2,4-dihydroxy-1,4-benzoxazine-3-one. Acta chem. Scand, 16 : 135-141.

BRINDLEY T.A. et DICKE F.F., 1963.- Significant developments in European corn borer research. Ann. Rev. Entomol., 8 : 155-176.

BRINDLEY T.A., SPARKS A.N., SHOWERS W.B. et GUTHRIE W.D., 1975.- Recent research advances on the European corn borer in North America. Ann. Rev. Entomol., 20 : 221-239.

BROWN A.W.A., 1963.- Chemical injuries. In Insect pathology : An advanced treatise, Steinhaus E.A. (Ed.) p. 65-131, Vol. I. Academic press, New York.

BURDIT A.K. et HOLDAWAY F.G., 1959.- An evaluation of resistance of corn leaf tissue to feeding by European corn borer larvae. J. econ. Entomol., 52 : 1171-1180.

CARNE P.B., 1966.- Growth and food consumption during the larval stages of Paropsis atomaria (Coleoptera : Chrysomelidae). Entomol. exp. appl., 9 : 105-112.

CHAPMAN, R.F., 1974.- The chemical inhibition of feeding by phytophagous insects : A review. Bull. Entomol. Res., 64 : 339-363.

CHARARAS C., ECHAUBARD M. et DAVID,J.,1973.- Nutrition larvaire d'Ergates faber L. (Coleop. Cerambycidae) : Morphologie du tube digestif,transit intestinal et consommation journalière. Bull. Soc. Zool. Fr., 98 : 563-576.

CHEZ D. et HODON M., 1975.- Le Kabatiella zeae,un nouvel agent pathogène du Maïs au Quebec. Phytoprotection, 56 : 90-95.

CHIANG H.C., 1965.- Relation of Ostrinia nubilalis (Hbn.) to the growth and yield of Zea mays L. 12th Proc. Intern. Congr. Entomol. London 1964 : 605-606.

CHIANG H.C., 1975.- Considérations écologiques à retenir pour l'élaboration de recommandations concernant la lutte chimique contre les ennemis des cultures. La Pyrale du Maïs prise comme exemple. Bull. Phytosanit. (FAO), 21 : 30-39.

CHIANG H. C, KEASTER A.J. et REED G.L., 1968.- Differences in ecological responses of three biotypes of Ostrinia nubilalis from the North-Central United States. Ann. Entomol. Soc. Amer., 61: 140-146.

CHIANG H.C. et WILCOXSON R.D., 1961.- Interactions of the European corn borer and stalk rot in corn. J. econ. Entomol., 54 : 850-852.

CHIPPENDALE G.M. et BECK S.D., 1964.- Nutrition of the European corn borer, Ostrinia nubilalis (Hübn.). V. Ascorbic acid as the corn leaf factor. Entomol. exp. appl. 241-248.

CHRISTENSEN J.J. et SCHNEIDER C.L., 1950.- European corn borer (Pyrausta nubilalis Hbn.) in relation to shank, stalk and ear rots of corn. Phytopathol., 40 : 284-291.

DADD R.H., 1970.- Arthropod nutrition. In Chemical Zoology. Florkin M. et Scheer B.T. (Eds.). Vol. V, p. 35-95. Academic press, New York.

DAHLMAN D.L., 1973a.- Starvation of the tobacco hornworm Manduca sexta. I. Changes in haemolymph characteristics of 5th stage larvae. Ann. Entomol. Soc. Amer., 66: 1023-1029.

DAHLMAN D.L., 1973b.- Starvation of the tobacco hornworm, Manduca sexta. 2. Survivorship curves, weight loss, and percent dry weight of larvae. Ann. Entomol. Soc. Amer., 66 : 1031-1033.

DAVID W.A.L. et GARDINER B.O.C., 1966.- The effect of sinigrin on the feeding of Pieris brassicae L. larvae transferred from various diets. Entomol. exp. appl., 9 : 95-98.

DAVIS F.M., 1976.- Production and handling of eggs of South Western corn borer for host plant resistance studies. Tech. Bull., 74, Mississippi Agric. Forestry Exp. Stn. Mississippi State Univ.

DAWE D.H., 1974.- The relation of 1-4 benzoxazolinone and related compounds in Zea mays to Helminthosporium maydis resistance. Diss. Abstr. Int. (B) 34 : 3031-3032.

DETHIER V.G., 1970a.- Chemical interactions between plants and insects. In Chemical Ecology, Sondheimer, E. et Simeone J.B. (Eds.) p. 83-102, Academic press, New York.

DETHIER V.G., 1970b.- Some general considerations of insects responses to the chemicals in food plants. In Control of insect behaviour by natural products, Wood D.L. et Silverstein R.M. et Nakajima M. (Eds.) p.21-28, Academic press, New york.

DOUGHERTY, E.C., 1959.- Axenic culture of invertebrate metazoa : A goal. Ann. N.Y. Acad. Sci., 77 : 27-54.

EHRLICH P.R. et RAVEN P.H., 1964.- Butterflies and plants : A study in coevolution. Ecology, 18: 586-608.

ELNAGHY M.A. et LINKO P., 1962.- The role of 4-O-glucosyl-2-4-dihydroxy-7-methoxy-1,4-benzoxanin-3-one in resistance of wheat to stem rust. Physiol. Plantarum, 15 : 764-771.

ENGELMANN M.D., 1966. Energetics terrestrial field studies and animal productivity. In Advances in ecological studies. Cragg, J.B. (Ed.), Vol. III, p. 73-115, Academic press, New York.

ERICKSON J.M. et FEENY P., 1974.- Sinigrin : a chemical barrier to the black swallow tail butterfly, Papilio polyxenes. Ecology, 55: 103-111.

EVANS A.C. et GOODLIFFE E.R., 1939.- The utilization of food by larva of the mealworm, Tenebrio molitor (L.) (Coleop.). Proc. R. Entomol. Soc. London (A), 14 : 57-62.

FRAENKEL G., 1959.- The raison d'être of secondary plant substances. Science, 129: 1466-1470.

FRAENKEL G., 1969.- Evaluation of our thoughts on secondary plant substances. Entomol. exp. appl., 12 : 473-486.

FRIEND W.G., 1958.- Nutritional requirements of phytophagous insects. Ann. Rev. Entomol., 3 : 57-74.

GAHUKAR R.T., 1969.- Resistance of plants to insect pests. Pesticides, 3 : 25.

GAHUKAR R.T., 1975a. Résistance du Maïs à la Pyrale, Ostrinia nubilalis Hbn. (Lepidoptera : Pyraustidae). Ann. Zool. Ecol. anim., 7 : 425-438.

GAHUKAR R.T., 1975b.- Nouvelles techniques adoptées pour l'élevage d'Ostrinia nubilalis Hübner sur milieu artificiel. Ann. Zool. Ecol. anim., 7 : 491-498.

GAHUKAR R.T., 1975c.- Effect of dietary zinc sulphate on the growth and feeding behaviour of Ostrinia nubilalis Hbn. (Lep., Pyraustidae). Z. angew. Entomol., 79 : 352-357.

GAHUKAR R.T., 1976a.- Relations entre divers paramètres larvaires et nymphaux selon le sexe et le milieu d'alimentation chez Ostrinia nubilalis Hübner. Ann. Zool. Ecol. anim., 8 : 33-38.

GAHUKAR R.T., 1976b.- Nutrition de la Pyrale du Maïs, Ostrinia nubilalis Hübner (Lepidoptera : Pyraustidae). Ann. Zool. Ecol. anim., 8 : 119-128.

GAHUKAR R.T., 1976c.- Rearing and biology of Ostrinia nubilalis Hbn. on five laboratory diets. Z. angew. Entomol., 81 : 67-74.

GAHUKAR R.T., 1976d.- Integrated control of insect crop pests : concept, problems and perspectives. PANS (accepté).

GAHUKAR R.T. et CHIANG H.C., 1976.- Advances in European corn borer research. In Report of International Project on Ostrinia nubilalis. Dolinka, B. (Ed.), Phase III, Hung. Acad. Sci. Martonvasar (sous presse).

GAHUKAR R.T. et MOREAU J.P., 1976.- Effet de l'élevage continu sur milieu artificiel sur la physiologie d'un Lépidoptère, Ostrinia nubilalis Hübner. C.R. Acad. Sci. Paris, 282 : 203-205.

GALLUN R.L., STARKS K.J. et GUTHRIE W.D., 1975.- Plant resistance to insects attacking cereals. Ann. Rev. entomol., 20 : 337-357.

GERE G., 1956.- Investigations into the laws governing the growth of Hypantria cunea Drury caterpillars. Acta Biol. Hung., 7 : 43-72.

GORDON H.T., 1961.- Nutritional factors in insect resistance to chemicals. Ann. Rev. Entomol., 6 : 27-54.

GORDON H.T., 1972.- Interpretations of insect quantitative nutrition. In Insect and mite nutrition, Rodriguez, J.G. (Ed.) p. 73-105. North Holland Publ. comp. Amsterdam/London.

GOVINDARAJAN R., JAYARAJ S. et NARAYANAN K., 1975.- Observations on the nature of resistance in Spodoptera litura (F.) (Noctuidae : Lepidoptera) to infection by Bacillus thuringiensis Berliner. Indian J. Exper. Biol., 13 : 548-550.

GUENNELON G., 1967.- L'alimentation artificielle des insectes. Rev. Zool. agric. appl., 66: 20-28.

GUENNELON G., 1972.- La Pyrale du Maïs In Entomologie appliquée à l'agriculture, Balachowsky A.S. (Ed.), Tome II, p. 1078-1129. Masson et Cie, Paris.

GUTHRIE W.D., 1974.- Techniques, accomplishments and future of breeding for resistance to European corn borer in corn. In Biol. control of plant insects and diseases. Maxwell F.G. et Harris F.A. (Eds.) p. 359-380, Mississippi Univ. Press.

GUTHRIE, W.D. et DICKE F.F., 1972.- Resistance of inbred lines of dent corn to leaf feeding by first brood European corn borers. Iowa State J. Sci., 46 : 339-357.

GUTHRIE W.D., DICKE F.F. et NEISWANDER C.R., 1960.- Leaf and sheath feeding resistance to the European corn borer in eight inbred lines of dent corn. Ohio Agric. Expt. Stn. Res. Bull., 860 : 38pp.

GUTHRIE W.D., HUGGANS J.L. et CHATTERJI S.M., 1969.- Influence of corn pollen on the survival and development of second brood larvae of the European corn borer. Iowa State J. Sci., 44 : 185-192.

GUTHRIE W.D., HUGGANS J.L. et CHATTERJI S.M., 1970.- Sheath and collar feeding resistance to the second brood European corn borer in six inbred lines of dent corn Iowa State J. Sci., 45 : 297-311.

GUTHRIE W.D., RAUN E.S., DICKE F.F., PESHO G.R. et CARTER S.W., 1965.-Laboratory production of European corn borer egg masses. Iowa State J. Sci., 40 : 65-83.

GUTHRIE W.D., RUSSELL W.A. et JENNINGS C.W., 1971.- Resistance of maize to second brood European corn borer. Ann. Corn Sorghum Res. Conf. Proc., 26 : 165-179.

GUTHRIE W.D. et WALTER E.V., 1961. Corn earworm and European corn borer resistance in sweet corn inbred lines. J. econ. entomol., 54 : 1248-1250.

HAMILTON R.H., 1964.- Tolerance of several grass species to 2-chloro-5-triazine herbicides in relation to dégradation and content of benzoxazinone derivatives. J. agric. Food Chem., 12 : 14-17.

HEDIN P.A., MAXWELL F.G. et JENKINS J.N., 1974.- Insect plant attractants, feeding stimulants, repellents, deterrents, and other related factors affecting insect behaviour. In Biol. control of plant insects and diseases, Maxwell F.G. et Harris F.A. (Eds.) p. 494-527. Mississippi Univ. Press.

HOAGLAND D. et ARNON D., 1938.- The water culture method for growing plants without soil. Univ. Calif. college Agric. Eng. Stn. Bull.Berkeley, 347-359.

HOEKSTRA A. et BEENAKKERS A.M.Th., 1976.- Consumption, digestion and utilization of various grasses by fifth instar larvae and adults of the migratory locust. Entomol. exp. appl., 19 : 130-138.

HOUSE H.L., 1974.- Nutrition. In The Physiology of insects, Rockstein M. (Ed.) Vol. V, p. 1-53. Academic press, New York - London.

HOUSER J.S. et HUBER L.L., 1928.- Nutrition as a factor in the responses of the European corn borer. J. econ. Entomol., 22 : 171-174.

HUBER L.L., 1937.- European corn borer resistance. Ohio Agric. Exp. Stn. Bull. 579 : 43-53.

HUBER L.L. et STINGFIELD G.H., 1942.- Aphid infestation of strains of corn as an index of their susceptibility to corn borer attack. J. Agric. Res.,64 : 283-291.

INTERNATIONAL WORKING GROUP ON OSTRINIA NUBILALIS, 1973.- Phase I, Dolinka, B (Ed.) Hung. Acad. Sci. Martonvasar. 168 pp.

INTERNATIONAL WORKING GROUP ON OSTRINIA NUBILALIS, 1975.- Phase II, Dolinka B (Ed.) Hung. Acad. Sci. Martonvasar. 137 pp.

ISA A.L. et KHADR G.D., 1973.- Rearing of Ostrinia nubilalis (Hbn.) on artificial diet. Agric. Res. Rev., 51 : 15-19.

JANZEN D.H., 1973.- Comments on host specificity of tropical herbivores and its relevance to species richness. In Taxonomy and ecology, Heywood V.H. (Ed.) p. 201-211, Academic press, New York.

JENNINGS C.W., RUSSELL W.A., GUTHRIE W.D. et GRINDELAND R.L., 1974a.- Genetics of resistance in maize to second brood European corn borer. Iowa State J. Sci., 48 : 267-280.

JENNINGS C.W., RUSSELL W.A., GUTHRIE W.D. et GRINDELAND R.L., 1974b.- Genetics of resistance in maize to first and second brood European corn borer. Crop. Sci., 14 : 394-398.

JERMY, T., 1961.- On the nature of the oligophagy in Leptinotarsa decemlineata Say (Coleoptera : Chrysomelidae). Acta Zool. Hung., 7: 119-132.

JERMY T., 1966.- Feeding inhibitors and food preference in chewing phytophagous insects. Entomol. exp. appl., 9 : 1-12.

KAMANO S., 1973.- Studies on artificial diets and laboratory rearing methods suitable for successive generations of the rice stem borer, Chilo suppressalis Walker. Bull. Nat. Inst. Agric. Sci. Ser. C, 27 : 1-51.
(en japonais, résumé en anglais).

KLUN J.A. et BRINDLEY T.A., 1966.- Role of 6-methoxy-benzoxazolinone in inbred resistance of the host plant (maize) to first brood larvae of European corn borer. J. econ. Entomol., 59 : 711-718.

KLUN J.A., GUTHRIE W.D., HALLAUER A.R. et RUSSELL W.A., 1970.- Genetic nature of the corn factor, 2,4-dihydroxy-7-methoxy-2H-1,4-benzoxazin-3-(4H)-one and resistance of the European corn borer in a diallel set of eleven maize inbreds. Crop Sci., 10 : 87-90.

KLUN J.A. et ROBINSON J.F., 1969.- Concentrations of two 1-4-benzoxazinones in dent corn at various stages of development of the plant to the European corn borer. J. econ. Entomol., 62 : 214-220.

KLUN J.A., TIPTON C.L. et BRINDLEY T.A., 1967.- 2,4-dihydroxy-7-methoxy-1, 4-benzoxanin-3-one (DIMBOA), an active agent in the resistance of maize to European corn borer. J. econ. Entomol., 60 : 1529-1533.

KOGAN M., 1975.- Plant resistance in pest management. In Introduction to insect pest management. Metcalf R.L. et Luckmann W.H. (Eds.) p. 103-146. John Wiley & Sons, New York-London.

KRAMER J.P., 1959.- Some relationships between Perezia pyraustae (Sporozoa : Nosematidae) and Pyrausta nubilalis (Hübner) (Lepidoptera : Pyralidae). J. Insect Pathol., 1 : 25-33.

KRIEGER P.I., FENNY P.P. et WILKINSON C.F., 1971.- Detoxification enzymes in the guts of caterpillars : An evolutionary answer to plant defense. Science, 172 : 579-581.

LAFON M., 1951.- Quelques documents sur l'appétit et la consommation alimentaire chez les Insectes. Ann. Nutr. Alim. (A) 5 : 485-504.

LE BERRE J.R., 1963.- Examen critique des méthodes d'étude de l'alimentation chez les Insectes. Ann. Nutr. Alim. (A) 7 : 203-218.

LE BERRE J.R. et MAINGUET A.M., 1973.- Nutrition du Criquet migrateur, Locusta migratoria L. (Orthoptera : Acrididae). I. Comportement alimentaire, survie et variation pondérale en fonction de quelques substances. Rev. Comp. Anim., 7 : 203-218.

LE BERRE J.R. et MAINGUET A.M., 1974.- Nutrition du Criquet migrateur, Locusta migratoria L. (Orthoptera : Acrididae). III. Etude quantitative de l'ingestion et de l'absorption intestinale. Ann. Nutr. Alim., 28 : 437-462.

LEGAY J.M., 1957.- La prise de nourriture chez le ver à soie. Ann. Epiphyties, (H.S.), 1-169.

LEONARD D.E., 1970.- Effects of starvation on behaviour, number of larval instars and development rate of Porthetria dispar. J. Insect Physiol., 16 : 25-31.

LEVINSON H.Z., 1976.- Ernährungs-und Stoffwechselphysiologie der Insekten und deren Anwendungsmöglichkeiten zur Schadlingsbekämpfung. Z. angew. Entomol., 81 : 113-132.

LEWIS L.C. et LYNCH R.E., 1969.- Rearing the European corn borer, Ostrinia nubilalis (Hübner) on diets containing corn leaf and wheat germ. Iowa State J. Sci., 44 : 9-14.

LEWIS L.C., LYNCH R.E. et GUTHRIE W.D., 1972.- Biology of European corn borers reared continuously on a diet containing Fumidil B. Ann. Entomol. Soc. Amer. 64 : 1264-1269.

LEWIS L.C. et RAUN E.S., 1966.- Consumption and utilization of laboratory diets by European corn borers. Iowa State J. Sci. 41 : 173-180.

LONG B.J., DUNN G.M. et ROUTLEY D.G., 1974.- Rapid procedure for estimating cyclic hydroxamate (DIMBOA) concentration in maize. Crop Sci., 14 : 601-603.

LOOMIS R.S., BECK S.D. et STAUFFER J.F., 1957.- The European corn borer, Pyrausta nubilalis (Hbn.) and its principal host plant. V. A chemical study of host plant resistance. Plant Physiol., 32 : 379-385.

LUCKEY T.D., 1968.- Insecticide hormologosis. J. econ. Entomol., 61 : 7-12.

LYNCH R.E. et LEWIS L.C., 1971.- Reoccurrence of Perezia pyraustae in Ostrinia nubilalis reared on diet containing Fumidil B. J. Invertebr. Pathol., 17 : 243-246.

LYNCH R.E., LEWIS L.C. et ROBINSON J.F., 1973. Lyophilised rearing medium for bio-assays. J. econ. Entomol., 66 : 1224-1225.

MA W.C., 1972.- Dynamics of feeding responses in Pieris brassicae Linn. as a function of chemosensory input : A behavioural, ultrastructural and electrophysiological study. Mededelingen Landbouwhogeschool, Wageningen, 72/11 : 1-162.

MARTOURET D., L HOSTE J. et ROCHE A., 1965.- Action sur le mésentéron de Pieris brassicae L. de la toxine de l'inclusion parasporale de Bacillus thuringiensis Berliner. Entomophaga, 10 : 349-365.

MATHAVAN S. et MUTHUKRISHNAN J., 1976.- Effects of ration levels and restriction of feeding durations on food utilization in Danaus chrysippus (Lepidoptera : Danaidae). Entomol. exp. appl., 19 : 155-162.

MAXWELL F.G., JENKINS J.N. et PAROTT W.L., 1972.- Resistance of plants to insects. Adv. agron., 24 : 187-265.

Mc GINNIS A.J. et KASTING J., 1967.- Dietary cellulose : Effect of food consumption and growth of a grasshopper. Can. J. Zool., 45 : 365-367.

METALNIKOV S. et CHORINE V., 1929.- On the natural and acquired immunity of Pyrausta nubilalis. In Intern. Corn borer Invest. Sci. Rept. Ellinger T. (Ed.) p. 22-37 Intern. Livestock Expos. Wnicnstock yards, Chicago. (Vol. II)

MOLOT P.M. et ANGLADE P., 1968.- Résistance commune des lignées du Maïs à l'helminthosporiose (Helminthosporium turcicum Pass.)et à la Pyrale (Ostrinia nubilalis Hbn.) en relation avec la présence d'une substance identifiable à la 6-methoxy-2-(3)-benzoxazolinone. Ann. Epiphyties, 19: 75-95.

MOORE R.H., 1928.- Odorous constituents of the corn plant in their relation to the European corn borer. Proc. Oklahoma Acad. Sci., 8 : 16-18.

MOREAU J.P., 1967.- La résistance des plantes aux Insectes. Bull. Tech. Inform., 219 : 1-6.

MOREAU J.P. et GAHUKAR R.T., 1975.- Importance des méthodes expérimentales dans les études plantes-insectes. Ann. Zool. Ecol. anim., 7 : 119-136.

MORRILL W.L. et GREENE G.L., 1974.- Survival of fall armyworm larvae and yield of field corn after artificial infestation. J. econ. Entomol., 67 : 119-123.

MUKAIYAMA F. et ITO T., 1962.- Digestion experiments in the silkworm, Bombyx mori, by means of artificial diets. II. Effect of cellulose powder added in diets. J. Sericult. Sci. Jap., 32 : 398-406.

NAGY B., 1970.- Rearing of the European corn borer (Ostrinia nubilalis Hbn.) on a simplified artificial diet. Acta Phytopathol. Acad. Sci. Hung, 5 : 73-79.

PAINTER R.H., 1951.- Insect resistance in crop plants. MacMillan Comp. New york.

PAINTER R.H., 1958.- Resistance of plants to insects. Ann. Rev. Entomol., 3 : 267-290.

PARR J.C. et THURSTON R., 1972.- Toxicity of nicotine in synthetic diets to larvae of the tobacco hornworm. Ann. Entomol. Soc. Amer., 65 : 1185-1188.

PEREVERZEV D.S., 1973.- Maize resistance to the first generation of the European corn borer in the Kuban. Proc. All. Union Sci.Res. Inst. Plant Prot., 37 : 129-143.

PILAT M., 1935.- Histological researches into the action of insecticides on the intestinal tube of insects. Bull. Entomol. Res., 26 :165-180.

PLANTEVIN G. et NARDON P., 1970.- Histologie et activité secrétoire de l'intestin moyen des larves de Pieris brassicae et Galleria mellonella. Evolution au cours de la mue larvaire et de la nymphose chez Galleria mellonella. Ann. Zool. Ecol., anim. 2 : 25-50.

POITOUT S., 1969.- La consanguinité chez les Lépidoptères Noctuidae mise en évidence de son importance dans la conduite d'élevage en conditions artificielles. Ann. Zool. Ecol. anim., 1 : 245-264.

POITOUT S. et BUES R., 1970.- Elevage de plusieurs espèces de Lépidoptères Noctuidae sur milieu artificiel riche et sur milieu artificiel simplifié. Ann. Zool. Ecol. anim., 2 : 79-91.

POLICARD A., BESSIS M. et LOQUIN M., 1957.- Traité de microscopie, Masson et Cie, 608 pp. Paris.

PRATT J.J., HOUSE H.L. et MANSINGH A., 1972.- Insect control strategies based on nutritional principles. A prospectus. In Insect and mite nutrition. Rodriguez J.C (Ed.) p. 651-668. North-Holland Publ. Comp. Amsterdam-London.

PRITULA G.I., 1973.- Role of secondary metabolic products in the resistance of maize to Pyrausta nubilalis. Proc. All Union Sci. Res. Inst. Plant Prot., 37 :113-120.

RAUN E.S., 1966.- European corn borer (Ostrinia nubilalis).In Insect colonization and mass production. Smith C.N. (Ed.) p. 323-338, Academic press, New York-London.

REED, G.L., 1975.- Diapause genetics in the European corn borer : A laboratory study of parental F_1, F_2 Bc_1 and Bc_2 populations including reciprocals. Diss. Abstr. int. (B)'35 : 2241.

REED G.L., BRINDLEY T.A. et SHOWERS W.B., 1972. Influence of resistant corn leaf tissue on the biology of the European corn borer. Ann. Entomol. Soc. Amer., 55 : 658-662.

REED G.L., SHOWERS W.B., HUGGANS J.P. et CARTER S.W., 1972.- Improved procedures for mass rearing the European corn borer.J. econ. Entomol., 65 : 1472-1476.

REESE J.C. et BECK S.D., 1976a.- Effects of allelochemics on the black cutworm, Agrotis ipsilon : Effects of p-benzoquinone, hydroquinone and duroquinone on Larval growth, development and utilization of food. Ann. Entomol. Soc. Amer., 69 :59-67.

REESE J.C. et BECKS S.D., 1976b.- Effect of allelochemics on the black cutworm, Agrotis ipsilon : Effects of catechol, L-dopa, dapamine and chlorogenic acid on larval growth, development and utilization of food. Ann. Entomol. Soc. Amer., 69 : 68-72.

RIEMANN J.G. et FLINT H.M., 1967.- Irradiation effects on midgut and testes of the adult bollweevil, Anthonomus grandis, determined by histological and shielding studies. Ann. Entomol. Soc. Amer., 60 : 298-308.

ROBIN J.C., 1974.- Techniques utilisées pour la production de pontes de la Pyrale et l'infestation artificielle du Maïs. Rev. Zool. agric. Pathol. veg., 63 : 164-16

ROBINSON J.F., 1975.- European corn borer : Components of plant resistance and concentrations of 1,4-benzoxazin-3-one in corn. Diss. Abstr. int. (B), 35 : 3980.

ROTH W. et KNUSLI E., 1961.- Beitrag zur Kenntnis der Resistenzphenomene eizelner Pflanzen gegenüber dem Phytotoxischen Wirkstoff Simazin. Experientia, 17 : 312-313

RUSSELL W.A., GUTHRIE W.D., KLUN J.A. et GRINDELAND R., 1975.- Selection for resistance in maize to first brood European corn borer by using leaf-feeding damage of the insect and chemical analysis for DIMBOA in the plant. J. econ. Entomol., 68 : 31-34.

SALAMA H.S., 1970.- Rearing the corn borer, Ostrinia nubilalis (Hübn.) on a semi-artificial diet. Z. angew. Entomol., 65 : 216-218.

SALAMA H.S. et EL SHARABY A.F., 1973.- Effect of zinc sulphate on the feeding and growth of Spodoptera littoralis (Boisd.). Z. angew. Entomol., 72 : 383-389.

SCHOONHOVEN L.M., 1972.- Secondary plant substances and insects. Recent Adv. Phytochem., 5 : 197-334.

SCHOONHOVEN L.M.et DERKSEN-KOPPERS I., 1976.- Effects of some allelochemics on food uptake and survival of a polyphagous aphid, Myzus persicae. Entomol. exp. appl. 19 : 52-56.

SCHROEDER L.A., 1976.- Effect of food deprivation on the efficiency of utilization of dry matter, energy, and nitrogen by larvae of the cherry scallop moth, Calocalpe undulata. Ann. Entomol. Soc. Amer., 69 : 55-58.

SCOTT G.E. et GUTHRIE W.D., 1966.- Survival of European corn borer larvae on resistant corn treated with nutritional substances. J. econ. Entomol., 5 ; 1265-1267.

SCRIBER J.M., TINGEY W.M., GRACEN V.E. et SULLIVAN S.L., 1975.- Leaf feeding resistance to the European corn borer in genotypes of tropical (low Dimboa) and U.S. inbred (high Dimboa) maize. J. econ. Entomol., 68 : 823-826.

SEHATA M.A., HARGRAVES J.C. et DAVIS D.W., 1975.- A new technique for determining resistance of sweet corn to second brood European corn borer. Hort. Sci., 10 : 277-278.

SEIGLER D. et PRICE P.W., 1976.- Secondary compounds in plants : Primary functions. Amer. Natur., 110 : 101-105.

SELF L.S., GUTHRIE F.E. et HODGSON E., 1974a.- Adaptation of tobacco hornworms to the ingestion of nicotine. J. Insect. Physiol., 10 : 907-914.

SELF L.S., GUTHRIE F.E. et HODGSON E., 1964b.- Metabolism of nicotine by tobacco feeding insects. Nature, 204 : 300.

BELL D.K. et BODZNICK D.A., 1971.- Effects of dietary $ZnSo_4$ on the growth and feeding of the tobacco budworm, Heliothis virescens. Ann. Entomol. Soc. Amer., 64 : 850-8

SHAPIRO I.D. et PEREVERZEV D.S., 1975.- Reproductive potential of the European corn borer, Ostrinia nubilalis Hübner feeding on maize lines with different resistance. In Rept. Intern. Project on Ostrinia nubilalis. Phase II, Dolinka B. (Ed.), p. 72-79. Hung. Acad. Sci. Martonvasar.

SHAVER T.N., LUKEFAHR M.J. et GARCIA J.A., 1970.- Food utilization, ingestion and growth of larvae of the bollworm and tobacco budworm on diets containing gossypol. J. econ. Entomol., 63 : 1544-1546.

SINOIR, Y., 1969.- Contribution à l'étude de la prise de nourriture chez la larve du Criquet migrateur, Locusta migratoria migratorioides (R.&.F) (Orthoptera, Acrididae Thèse de Doctorat d'Etat, Faculté des Sciences, Centre d'Orsay, 156 pp.

SMISSMAN E.E., KRISTIANSEN O.et BECK S.D., 1962.- Presence of 6-methoxy-benzoxazolinone in injured corn tissue. J. Pharm. Sci., 51 : 292.

SMISSMAN E.E., LAPIDUS J.B. et BECK S.D., 1957.- Isolation and synthesis of an insect resistance factor from corn plants. J. Amer. chem. Sci., 79 : 4697-4698.

SOO HOO C.F. et FRAENKEL G., 1966a.- The selection of food plant in a polyphagous insect, Prodenia eridiana (Cramer). J. Insect Physiol., 12 : 693-709.

SOO HOO C.F. et FRAENKEL G., 1966b.- Consumption, digestion and utilization of food plants by a polyphagous insect, Prodenia eridiana (Cramer). J. Insect Physiol., 12 : 711-730.

SULLIVAN S.L., 1975.-Mechanisms of resistance to European corn borer, Ostrinia nubilalis (Hübner) in exotic maize lines. Diss. Abstr. Int. (B) 36 : 506.

SULLIVAN S.L., GRACEN V.E. et ORTEGA A., 1974.- Resistance of exotic maize varieties to the European corn borer, Ostrinia nubilalis (Hübner). Environ. Entomol., 3 : 718-720.

SURANY P., 1957. Continuous mass rearing of the European corn borer in the laboratory. Illinois Nat. His. Surv. Divis. Biol. Notes n° 37.

TANG C.H., CHANG S.H., HOO D. et YANAGIHARA K.H., 1975.- Gas chromatographic determination of 2 (3)-benzoxazolinones from cereal plants. Phytochem., 14 : 2077-2079.

THORSTEINSON A.J., 1960.- Host selection in phytophagous insects. Ann. Rev. Entomol., 5 : 193-218.

TOPPOZADA A., SALAMA A.E., ELDEFRAWI M.E. et ZEID M., 1968.- Histopathological effects of insecticides on the midgut of the Egyptian cotton leafworm, Spodoptera littoralis. Ann. Entomol. Soc. Amer. 61 : 1326-1333.

TRAGER W., 1953.- Nutrition. In Insect physiology. Roeder, K.D. (Ed.), p. 350-386. John Wiley & Sons, New York.

VANDERZANT E.S., 1974. Development, signification and application of artificial diets for insects. Ann. Rev. Entomol., 18 : 139-160.

VILKOVA, N.A., 1975.- Anatomo-physiological characteristics of the European corn borer (Ostrinia nubilalis Hübner) caterpillar's alimentary system. In Rept. Intern. Projet on Ostrinia nubilalis. Phase II, Dolinka B (Ed.) p. 129-132. Hung. Acad. Sci. Martonvasar.

VILKOVA N.A. et SHAPIRO I.D., 1973.- Food qualities of plant varieties and their role in plant resistance to insect pests. Proc. All. Union Sci. Res. Inst. Plant Prot. 37 : 30-40

VIRTANEN A.I., 1961.- Some aspects of factors in the maize plant with toxic effects on insect larvae. Suomen Kemis. (B), 34 : 29-31.

VIRTANEN A.I. et HIETALA P.K., 1955.- An antifungal factor in rye seedlings. Suomen Kemis (B), 28 : 165-166.

WAHLROOS O. et VIRTANEN A.I., 1959a.- On the formation of 6-methoxybenzoxazolinone in maize and wheat plants. Suomen Kemis, (B), 32 : 139-140.

WAHLROOS O. et VIRTANEN A.I., 1959b.- The precursors of 6 MBOA in maize and wheat plant : Their isolation and some of their properties. Acta Chem. Scand., 13 : 1906-1908.

WALDBAUER G.P., 1964.- The consumption, digestion and utilization of solanaceous and non-solanaceous plants by larvae of the tobacco hornworm, Protoparce sexta Johan.(Lepidoptera : Sphingidae). Entomol. exp. appl., 7 : 253-269.

WALDBAUER G.P., 1968.- The consumption and utilization of food by insects. Adv. Insect Physiol., 5 : 229-288.

WALKER J.R., 1962.- Evaluation of control of European corn borer, Ostrinia nubilalis (Hübner) by x ray induced sterility. Doctoral dissertation, Iowa State Univ. Sci. Technol., 61pp.

WEISMANN L. et SVATARAKOVA L., 1973.- Influence of sodium fluoride on behaviour of caterpillars, Scotia segetum Den. & Schiff. Biologia (Bratislava), 28 : 105-109.

WHITTAKER R.H., 1970.- The Biochemical Ecology of Higher plants. In Chemical Ecology, Sondheimer E. et Simeone J.B.(Eds.), p. 43 - 70 Academic Press, London-New York.

WHITTAKER R.H. et FEENY P.P., 1971.- Allelochemics:Chemical interactions between species. Science, 171 : 757-770.

WIGGLESWORTH V.B., 1965.- The principles of insect physiology. 6 th Edition. Methuen Co. Ltd. London.

WITNEY N.J. et MARTIMORE C.G., 1959.- Isolation of the antifungal substance of 6-methoxy benzoxazolinone from field corn (Zea mays L.) in Canada. Nature, 184 : 1320.

WOODWARD M.D., 1976.- Biological and chemical properties of 2,4-dihydroxy-7- methoxy-2H-1, 4-benzoxazin-3 (4H)-one and related compound from maize Diss. Abstr. int. (B), 36 : 5887-5888.

WRESSELL H.B., 1955.- Rearing the European corn borer, Pyrausta nubilalis (Hbn.) on an artificial diet. Ann. Rep. Entomol. Soc. Ontario, 86 : 10-13.

ZAMFIROV Ts., 1970.- The survival of larvae of the maize stem borer in relation to the stage of development of the maize plant. Rast. Zashch, 18 : 13-15.

ZIMMACK H.L. et BRINDLEY T.A., 1957.- The effect of the protozoan parasite, Perezia pyraustae Paillot on the European corn borer. J. Invertebr. Pathol., 50 : 637-640.

Ann. Zool.-Écol. anim., 1975, 7 (4), 491-498.

NOUVELLES TECHNIQUES ADOPTÉES POUR L'ÉLEVAGE D'*OSTRINIA NUBILALIS* HUBNER SUR MILIEU ARTIFICIEL

R. T. GAHUKAR

Station centrale de Zoologie,
Centre national de Recherches agronomiques, I. N. R. A.,
78000 Versailles

RÉSUMÉ

Un élevage important de la Pyrale du Maïs (*Ostrinia nubilalis* HÜBNER) au laboratoire sur milieu artificiel a été mis au point à l'aide de techniques simples qui nous permettent d'avoir une production permanente. A base de semoule de maïs et de germe de blé (POITOUT et BUES, 1970), le milieu est de fabrication facile et de prix peu élevé. La survie (72 à 92 p. 100) et la durée d'évolution des larves (17 jours), le rendement en adultes normaux (65 à 75 p. 100), la fécondité des femelles (12 plaques/femelle) et le sex ratio observé (1 : 0,95) constituent des résultats satisfaisants qui nous encouragent à maintenir l'élevage de l'insecte selon la méthode adoptée.

INTRODUCTION

L'importance économique de la Pyrale du Maïs, *Ostrinia nubilalis* HÜBNER (*Lepidoptera, Pyraustidae*) est mondialement connue et de nombreux travaux sont actuellement en cours pour enrichir les connaissances sur la biologie et l'écologie de la Pyrale, et pour améliorer la lutte contre le ravageur. L'élevage en masse est nécessaire afin de procéder à des infestations artificielles à une grande échelle pour étudier la sensibilité de variétés de maïs, et pour mener des essais de laboratoire concernant l'effet d'insecticides, de germes pathogènes ou d'agents stérilisants. Des élevages ont été essayés sur des aliments naturels, par exemple, sur des gousses de haricot (SURANY, 1957), ou des organes du maïs (ISA et KHADR, 1973). Les résultats ont été satisfaisants mais le matériel végétal n'est pas disponible pendant toute l'année, et le changement fréquent de nourriture pendant l'évolution larvaire néces-

site d'importantes manipulations. L'insecte a été par ailleurs élevé sur des milieux artificiels dit « méridiques » de composition relativement complexe (Bottger, 1943 ; Beck *et al.* 1949 ; Wressell, 1955 ; Becton *et al.*, 1962 ; Guthrie *et al.*, 1965 ; Lewis et Lynch, 1969). Comme pour d'autres lépidoptères, les auteurs s'orientent depuis quelques années vers la mise au point de milieux artificiels simples, comportant en majeure partie des substances végétales courantes et de prix peu élevé. C'est ainsi que de nouveaux milieux pour *O. nubilalis* sont à base de poudre de luzerne (Nagy, 1970), de haricot blanc (Salama, 1970), de poudre de maïs seule (obtenue à partir de feuilles et tiges de jeunes plants) ou additionnée de son de riz (Isa et Khadr, 1973), de semoule de maïs et germe de blé (Poitout et Bues, 1970). Mise au point pour des noctuelles, cette dernière formule simple a été déjà éprouvée et modifiée pour une production permanente d'*Ostrinia nubilalis* par Guennelon et d'Arcier à la Station de Zoologie de Montfavet (Guennelon, communication personnelle). Nous avons essayé la même formule mais avec une présentation du milieu et un conditionnement des insectes différents, afin de quantifier l'influence de ce régime sur les caractères du développement des larves et des chrysalides, la fécondité et la longévité des imagos. Le présent travail est consacré à la description des nouvelles techniques adoptées et à la discussion des résultats obtenus.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. — *Milieu artificiel*

Les modifications apportées à la formule de Poitout et Bues (1970) concernent l'abaissement de la dose d'agar à 4 grammes et l'élévation des teneurs en substances antimicrobiennes à 0,30 grammes pour l'acide benzoïque et 0,25 grammes pour la nipagine, ainsi que l'adjonction d'une petite quantité de formol (0,35 ml), ces modifications semblent apporter une plus grande aseptie, tout en ne montrant pas d'effets défavorables sur le développement des chenilles. La diminution de la quantité d'agar à 4 g offre un aussi bon résultat du point de vue de la consistance. La fabrication du milieu est analogue à celle décrite par les auteurs cités ci-dessus.

2. — *Élevage des différents stages*

La souche a été prélevée en 1972 dans la production permanente de la Station de Zoologie de Montfavet où la Pyrale du Maïs est élevée sur alimentation artificielle et maintenue depuis 1965.

a) *Adultes.*

Les papillons sont récoltés chaque jour et placés par groupes (30 mâles et 30 femelles) dans des cages cylindriques grillagées (20 × 16 cm) à couvercles également grillagés sur lesquels sont appliqués un papier cristal puis un papier filtré humidifié. Une cloche recouvre le tout et permet de garder une humidité satisfaisante (fig. 1). Deux à trois jours après leur émergence, les femelles pondent sur le papier cristal ainsi que sur les feuilles de papier déposées dans les cages. Celles-ci sont ensuite rangées dans des plateaux dont le fond est tapissé de sable mouillé afin de maintenir un environnement humide. Lorsque les adultes sont très nombreux, nous utilisons de préférence de grandes cages parallélépipédiques (60 × 30 × 30 cm) afin d'obtenir de manière simple une forte production journalière d'œufs (fig. 2). Ces cages sont de type analogue à celles utilisées par Guthrie *et al.* (1965) ou par Guennelon et Soria (1973) pour la Pyrale du Riz. Une feuille de papier cristal est placée sur le plafond de la cage et recouverte de tissu éponge synthétique mouillée abondamment. Les papillons sont nourris avec de l'eau sucrée (à 5 p. 100 de miel) dans une boîte abreuvoir en plastique remplie de coton. Chaque jour les cages sont pulvérisées avec de l'eau. Les adultes vivent une à deux semaines en moyenne. Les

papiers sur lesquels s'effectue la ponte sont traités avec une solution à 2 p. 100 d'acide sorbique dans 95 p. 100 d'alcool éthylique pendant 2 à 3 minutes puis rincés à l'eau courante pendant 5 à 10 minutes, afin d'éviter le développement de moisissures. Ce traitement n'a aucun effet

FIG. 1. — *Cages d'élevage des adultes pour la ponte d'*Ostrinia nubilalis

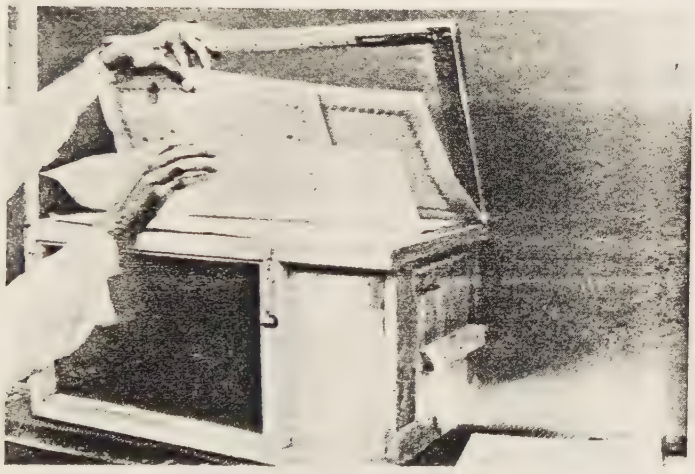


FIG. 2. — *Grande cage pour les élevages de masse*

défavorable sur l'éclosion des œufs. Les papiers une fois séchés, sont insérés dans des feuilles de papier filtre humide et mis dans des boîtes cylindriques en plastique (12 × 9 cm) (fig. 3). L'atmosphère humide maintenue dans les boîtes facilite l'incubation et l'éclosion des œufs (fig. 4). Toutefois, il faut éviter un excès d'humidité qui favorise la croissance de moisissures sur les ooplaques.

Les pontes déposées sont prélevées tous les un ou deux jours (selon la nécessité) et les papiers remplacés. Les œufs éclosent un jour après le stade « Black head stage » qui correspond à l'apparition des capsules céphaliques noires des futures larves.

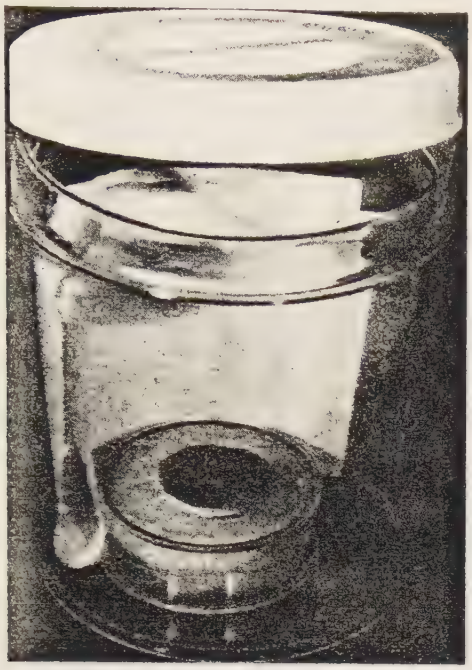


FIG. 3. — *Boîte d'incubation d'œufs d'*Ostrinia nubilalis

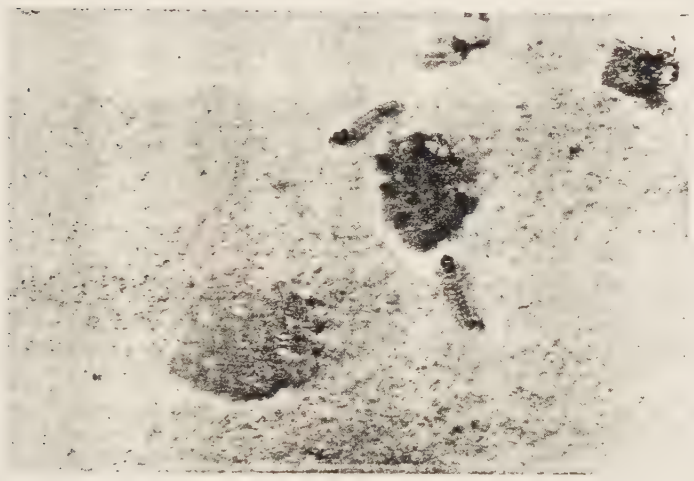


FIG. 4. — *Ooplaques et chenilles nouveau-nées d'*Ostrinia nubilalis

b) *Chenilles.*

Le milieu est placé le long des bords intérieurs d'une boîte en plastique (20 × 8 × 2,5 cm). Il est souhaitable de désinfecter les boîtes avant leur utilisation par lavage dans un liquide antiseptique plutôt que de les stériliser, car on ne peut employer les méthodes traditionnelles de

stérilisation (autoclavage, etc.) Les chenilles nouveau-nées sont déposées facilement sur le milieu à l'aide d'un pinceau fin. Une fermeture étanche des boîtes est très importante car les chenilles se déplacent beaucoup pendant environ 24 heures.

Cette difficulté peut être surmontée en couvrant les boîtes de papier noir pendant 2 jours, ce qui a pour effet de diminuer la mortalité des larves nouveau-nées. REED *et al.* (1972) utilisent des boîtes couvertes à moitié de leur hauteur par un papier noir. Une semaine après les chenilles sont transférées avec du milieu frais dans de grandes boîtes en plastique grillagées (27 × 13,5 × 9 cm) (fig. 5). A la fin du développement larvaire, on place à l'intérieur des boîtes, des bandes de papier ondulé traité par une solution mycostatique (3,5 g d'acide sorbique dans 100 ml d'alcool éthylique à 95 p. 100) de la façon décrite par REED *et al.* (1972). Ce traitement facilite la nymphose et évite le développement de moisissures sur le papier. Le milieu nutritif est remplacé aussi souvent que son état sanitaire l'exige.

FIG. 5. — *Boîte pour l'élevage des chenilles âgées d'*Ostrinia nubilalis *sur milieu artificiel*
(les bandes de papier ondulé sont destinées à la nymphose)

c) *Nymphes.*

Les chrysalides sont retirées du papier ondulé et déposées sur du sable fin (ou du papier filtre) humidifié dans une boîte en plastique aérée (15 × 9 × 7 cm).

3. — *Conditions d'élevage*

Sauf pour les adultes, l'élevage de la Pyrale est conduit dans une salle climatisée à 28°C, 70-80 p. 100 HR et 16 h/8 h de photopériode. L'élevage des papillons est effectué à 24 ± 1°C, 60-70 p. 100 HR et 16 h/8 h de photopériode. Cette abaissement de température à 24°C est favorable à une bonne longévité des imagos et une importante fécondité des femelles. Les critères d'élevage évalués dans cette étude sont :

— le taux d'émergence des adultes,
— le sex ratio,
— la fécondité des femelles,
— l'éclosion des œufs,
— le pourcentage de survie larvaire après 20 jours,
— le taux de nymphose après 20 jours,
— et le poids des chrysalides 24 heures après leur formation.

Nous nous sommes limités à 20 jours car la plupart des chenilles se nymphosent dans ce délai.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Grâce à la technique décrite ci-dessus, l'élevage de la Pyrale est maintenu au laboratoire depuis près de deux ans avec un bon rendement et une production relativement importante.

Concernant les papillons, on remarque que le rendement en adultes normaux obtenu atteint 65 à 75 p. 100, par rapport aux larves nouveau-nées installées. Le sex-ratio (mâle : femelle) est de l'ordre de 1 : 0,95 dans les lots de papillons obtenus pendant 3 générations successives. La proportion de mâles est un peu plus forte que celle notée par NAGY (1970) dans l'élevage sur milieu à base de poudre de luzerne. La longévité des adultes varie d'une à deux semaines et les femelles vivent plus longtemps que les mâles. Les femelles déposent leurs œufs en groupes de 8 à 16 ooplaques/femelle, comportant 20 à 30 œufs en moyenne. NAGY (1970) obtient 8 à 22 ooplaques. La fécondité des adultes et la viabilité des œufs sont satisfaisantes. Le taux d'éclosion des chenilles est important (80 à 90 p. 100). La durée d'incubation est de 3 à 4 jours en moyenne, mais on observe parfois que les chenilles d'une même ooplaque n'éclosent pas toutes le même jour.

TABLEAU I

Taux de survie des chenilles et taux de nymphose 20 jours après la mise en élevage

Pourcentage	Nombre de chenilles/boîte		
	50	100	150
Survie larvaire	92,00	75,00	72,33
Nymphose (1)	80,43	80,35	65,44

(1) Pourcentage par rapport aux chenilles survivantes.

L'examen du tableau I nous permet de conclure qu'une trop grande densité de chenilles entraîne une très forte mortalité. Il est préférable de mettre seulement une cinquantaine de chenilles par boîte. On constate en outre que cette mortalité est élevée surtout chez les très jeunes larves. Dans le cas où la quantité de milieu est insuffisante, le cannibalisme intervient : les chenilles âgées dévorent les plus jeunes ou quelquefois les chrysalides. Dans notre élevage, la mortalité est un peu plus élevée que celle observée sur le milieu à poudre de luzerne (NAGY, 1970).

Les chenilles se nymphosent en moyenne après 17 jours, mais la durée minimale de l'évolution larvaire est de 14 jours. Quelques chenilles exigent 20 jours pour terminer leur développement et l'on note dans ce cas des mues surnuméraires. En

outre, lorsque des moisissures se développent sur le milieu, des larves meurent ou bien leur développement est ralenti ; elles ont une taille réduite et se nymphosent difficilement. Les papillons provenant de ces chrysalides sont plus petits, souvent malformés et inféconds.

Le taux de nymphose dépend aussi du nombre de chenilles installées par boîte. Il est évalué à 65,44 p. 100 pour 150 chenilles au lieu de 80,43 p. 100 en moyenne pour les lots de 50 chenilles. L'évolution nymphale dure de 6 à 8 jours en moyenne. Le poids des chrysalides mâles est en moyenne de 56,5 mg (42,4-69,3 mg) et celui des femelles de 63,6 mg (53,1-99,5 mg). On n'observe pas de mortalité nymphale importante dans l'ensemble.

Il n'y a pas de diapause dans les conditions de température, humidité et photopériode utilisées ici, et la durée totale d'une génération varie de 30 à 40 jours. En utilisant toujours les premières pontes déposées, il est possible de produire au moins 11 à 12 générations par an.

De manière générale, les techniques utilisées donnent satisfaction, puisqu'elles ont permis l'élevage d'une vingtaine de générations successives sans baisse apparente de rendement. L'aliment artificiel utilisé offre l'avantage d'être simple à préparer et peu coûteux. La technique d'installation des jeunes larves sur de faibles quantités de milieu puis leur passage, une semaine plus tard, sur du milieu frais, permet de minimiser les pertes d'aliment et les risques d'altération. En outre, ce transfert dans des boîtes d'élevage spacieuse offre aux larves âgées des possibilités de déplacements favorables à l'achèvement de leur évolution, et permet d'éviter le cannibalisme.

Cependant, les techniques d'élevage ici adoptées exigent plus de temps de manipulation que celles appliquées par Guennelon et d'Arcier qui laissent les larves effectuer tout leur développement dans une même boîte, contenant un milieu coulé. En particulier, le transfert des larves doit être exécuté avec un grand soin pour éviter de les blesser ou de les tuer ; il est conseillé de les prélever avec leur milieu. Par ailleurs, l'expérience acquise des élevages d'insectes prouve que toutes les opérations d'ouverture de boîtes d'alimentation, de transfert de larves et de milieu, etc. multiplient les risques de contamination et d'envahissement du milieu par des moisissures, levures et bactéries. Or, il importe de maintenir un excellent état sanitaire dans un élevage permanent.

CONCLUSION

Le milieu artificiel à base de semoule de maïs et de germe de blé se montre nutritif et favorable à la survie et à la croissance des chenilles et ultérieurement donne des adultes normaux et féconds. La viabilité des œufs est elle aussi satisfaisante. Après avoir gardé la même souche pendant à peu près 2 ans, aucune diminution de vigueur n'a été observée au cours des générations successives. Ce milieu est peu coûteux et facile à préparer. Ses composants sont toujours disponibles de sorte que les techniques décrites permettent un élevage permanent en laboratoire toute l'année.

Reçu pour publication en juin 1975.

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à M. le Professeur Le Berre, Université de Paris-Sud, Centre d'Orsay et à M. Moreau, Maître de Recherches au C. N. R. A. de Versailles pour les conseils qu'ils m'ont prodigués tout au cours de ce travail, à Mme Guennelon (Station de Zoologie d'Avignon) qui m'a fourni la souche de Pyrale en m'initiant à ses propres techniques d'élevage, et qui a bien voulu relire le manuscrit.

SUMMARY

NEW TECHNIQUES ADOPTED FOR THE REARING OF *OSTRINIA NUBILALIS* HÜBNER (*LEPIDOPTERA, PYRAUSTIDAE*) ON ARTIFICIAL DIET

A successful laboratory rearing of European corn borer (*Ostrinia nubilalis* HÜBNER) on artificial diet is described. The simple technique permits to obtain continuous eggs production. The diet containing maize meal and wheat germ (Poitout and Buès, 1970) is easily prepared and less costly. The survival (72-92 p. 100) and development period of larvae (17 days), normal emergence of adults (65-75 p. 100), fecundity of females (12 egg masses/female) and observed sex-ratio (1 : 0,95) are the satisfactory results which encourage us to maintain the rearing of the insect as per the method adopted.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Beck S. D., Lilly J. H., Stauffer J. F., 1949. Nutrition of the European corn borer, *Pyrausta nubilalis* (HBN.). I. Development of a satisfactory purified diet for larval growth. *Ann. Entomol. Soc. Amer.*, **42**, 483-496.

Beck S. D., Chippendale G. M., Swinton D. E., 1968. Nutrition of the European corn borer. *Ostrinia nubilalis*. VI. A larval rearing medium without crude plant fractions. *Ann. Entomol. Soc. Amer.*, **61**, 459-462.

Bottger G. T., 1942. Development of synthetic food media for use in nutrition studies of the European corn borer. *J. Agr. Res.*, **65**, 493-500.

Guennelon G., Soria F., 1973. Mise au point au laboratoire d'un élevage permanent de la Pyrale du Riz, *Chilo suppressalis* walker (*Lepidoptera, Pyralidae*) sur milieu artificiel. *Ann. Zool.-Écol. Anim.*, **5**, 547-458.

Guthrie W. D., Raun E. D., Dicke F. F., Pesho G. R., Carter S. W., 1965. Laboratory production of European corn borer eggmasses. *Iowa State J. Sci.*, **40**, 65-83.

Isa A. L., Khadr G. D., 1973. Rearing of *Ostrinia nubilalis* (HBN.) on artificial diet. *Agric. Res. Rev.*, **51**, 15-19.

Lewis L. C., Lynch R. E., 1969. Rearing the European corn borer, *Ostrinia nubilalis* (HÜBNER) on diets containing corn leaf and wheat germ. *Iowa State J. Sci.*, **44**, 9-14.

Nagy B., 1970. Rearing of the European corn borer. (*Ostrinia nubilalis* HBN.) on a simplified artificial diet. *Acta Phytopath. Acad. Sci. Hung.*, **5**, 73-79.

Poitout S., Bues R., 1970. Élevage de plusieurs espèces de Lépidoptères *Noctuidae* sur milieu artificiel riche et sur milieu artificiel simplifié. *Ann. Zool.-Écol. Anim.*, **2**, 79-91.

Reed G. L., Showers W. B., Huggans J. L., Carter S. W., 1972. Improved procedures for mass rearing the European corn borer. *J. Econ. Entomol.*, **65**, 1472-1476.

Salama H. M., 1970. Rearing the corn borer, *Ostrinia nubilalis* (HUBN.) on a semi-artificial diet. *Z. Angew. Entomol.*, **65**, 216-218.

Surany P., 1957. Continuous mass rearing of the European corn borer in the laboratory. *Biol. notes n° 37 Nat. Hist. Surv. Divis. Urbana*, **37**, 111.

Wressell H. B., 1955. Rearing the European corn borer, *Pyrausta nubilalis* (HBN.) on an artificial diet. *Ann. Rept. Entomol. Soc. Ontario*, **86**, 10-13.

Ann. Zool.-Écol. anim., 1976, 8 (1), 33-38.

RELATIONS ENTRE DIVERS PARAMÈTRES LARVAIRES ET NYMPHAUX SELON LE SEXE ET LE MILIEU D'ALIMENTATION CHEZ *OSTRINIA NUBILALIS* HÜBNER

R. T. GAHUKAR

Station de Zoologie,
Centre national de Recherches agronomiques, I. N. R. A.,
Route de Saint-Cyr,
78000 Versailles

RÉSUMÉ

Au laboratoire, l'élevage de la pyrale du Maïs, *Ostrinia nubilalis* HÜBNER sur 5 milieux artificiels a permis de mettre en évidence, entre divers paramètres larvaires et nymphaux (durée de vie, poids...) des relations linéaires plus ou moins significatives selon le sexe et le milieu d'alimentation des chenilles. En outre, ces paramètres ont été comparés avec la fécondité des femelles.

La relation entre le nombre d'œufs pondus par les femelles (y) et le poids nymphal (x_1), (par exemple, $y = -106{,}86 + 4{,}68\ x_1$ dans le cas de milieu à base de germe de blé) peut être prise en considération pour la prédiction de l'évolution des populations.

INTRODUCTION

Les données quantitatives relatives aux différents stades de la vie d'un insecte sont utiles pour évaluer le potentiel reproducteur de l'espèce. Il existe parfois entre ces critères, des corrélations linéaires, qui permettent de préciser l'évolution des populations, élément important dans la décision d'une lutte préventive. De plus, ces données sont également utilisables dans les études sur la nutrition, le développement, l'action de pathogènes et pour les aspects écologiques.

Une relation significative entre le poids des chrysalides et le nombre des œufs pondus a été démontrée chez certains lépidoptères, comme *Laspeyresia pomonella* L. (BOREIKO, 1972) et *Lymantria monacha* L. (ZWÖLFER, 1933). Il en va de même pour

le poids nymphal avec la largeur du thorax chez *Haematobia irritans* L. (SCHMIDT et BLUME, 1973) et avec la taille des femelles chez *Cochliomyia hominivorax* COQUEREL (SPATES et HIGHTOWER, 1970). Ces relations permettent d'estimer la fécondité potentielle. Or, on sait que la production des œufs est déterminée par la quantité et la qualité de l'alimentation des insectes à certains stades (SOLOMON, 1967 ; MANI, 1968). La qualité de l'aliment influe sur le poids des femelles et détermine la fécondité, comme par exemple, chez *L. pomonella* (DESEÖ, 1971). BOTTGER (1951) observe, pour les chenilles d'*Ostrinia nubilalis* HÜBNER qu'une durée de vie plus longue semble associée à un poids larvaire plus élevé. Le but du présent travail est de vérifier s'il y a une relation chez cet insecte, entre la durée de développement larvaire, le poids des chenilles et des chrysalides, la durée de vie nymphale et d'étudier, dans le cas des femelles, l'effet de ces facteurs sur la fécondité. Ceci dans le double but, d'une part de contrôler la production de l'élevage dans les conditions de laboratoire ; d'autre part, d'étudier les effets propres à l'alimentation des chenilles.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les insectes utilisés dans cette étude proviennent d'un élevage permanent maintenu au laboratoire (GAHUKAR, 1975 *a*). Les chenilles nouveau-nées sont mises dans de petites boites cylindriques en plastique (2 × 5 cm) et l'élevage a été poursuivi selon la technique récemment décrite (GAHUKAR, 1975 *b*).

Dans chaque essai, soixante chenilles ont été suivies individuellement pour chaque milieu. Les 5 milieux artificiels que nous avons utilisés sont respectivement à base de semoule de maïs, en grain entier (POITOUT et BUES, 1970) ou du commerce, de germe de blé (LEWIS et LYNCH, 1969), de poudre de luzerne (NAGY, 1970) et de haricot (WEISMANN, communication personnelle). Ce dernier milieu a été un peu modifié en remplaçant la Pangamine par le « Vitamin Diet Fortification Mixture » (VDFM).

De l'œuf à l'adulte l'élevage s'effectue à 28°C, 70-80 p. 100 HR. Les adultes sont placés à 24 ± 1°C, 60-70 p. 100 HR. Les conditions d'éclairement sont toujours 16 h de lumière/8 h d'obscurité.

Les critères retenus dans cette étude sont :

— le poids et la durée de développement des chenilles,
— le poids et la durée de vie des chrysalides,
— la fécondité des femelles (22-25 individus/milieu).

A l'aide d'une balance Mettler M5, les chenilles sont pesées individuellement à la fin de leur développement (un jour avant le stade « préchrysalide ») et les chrysalides 24 heures après leur formation. Les œufs sont dénombrés à l'aide d'une loupe binoculaire Wild.

Une analyse de régression a été utilisée afin de comparer entre eux les résultats.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats selon les différents critères et les coefficients de régression sont consignés respectivement dans les tableaux 1 et 2. La comparaison détaillée entre milieux étant exposée ailleurs (GAHUKAR, 1975 *b*), nous nous en tiendrons ici aux phénomènes généraux.

La comparaison des moyennes des mesures individuelles montre qu'il existe une relation très significative entre la durée de développement et le poids des chenilles

élevées sur le milieu contenant la semoule de maïs du commerce, pour le sexe mâle d'une part et les sexes mâle et femelle ensemble d'autre part. Par contre, dans ce dernier cas (♂ + ♀), la relation est moins significative en ce qui concerne le milieu haricot (tabl. 2).

TABLEAU I

*Durée de vie larvaire et nymphale, poids des larves et des nymphes des deux sexes et fécondité des femelles d'*Ostrinia nubilalis HBN. *élevé sur cinq milieux artificiels*

Milieu	Sexe	Durée de vie larvaire (j)	Poids larvaire (mg)	Durée de vie nymphale (j)	Poids nymphal (mg)	Fécondité (nombre d'œufs par femelle)
Semoule de maïs (commerce)	♂	15,47	70,5	6,60	60,5	135,85
	♀	16,90	81,5	7,00	63,5	
Semoule de maïs (grain entier)	♂	16,38	76,7	6,60	67,3	215,73
	♀	15,63	86,6	5,95	73,2	
Germe de blé	♂	15,45	80,2	7,15	63,2	233,54
	♀	16,50	88,2	6,54	72,5	
Haricot	♂	18,20	72,5	7,05	57,0	139,77
	♀	22,04	84,2	7,27	64,6	
Poudre de luzerne	♂	16,00	66,6	7,53	56,0	164,58
	♀	17,04	71,3	7,59	59,5	

Le poids nymphal ne semble pas associé à la durée de développement larvaire sauf sur milieu à base de germe de blé en considérant les mâles seuls ou l'ensemble des deux sexes. De plus, nous avons observé sur ce milieu une forte interaction entre le poids larvaire et nymphal d'une part, et la durée de développement larvaire, d'autre part. Il est à noter qu'il y a une relation linéaire entre le poids des larves et celui des nymphes, quel que soit le milieu. Cette corrélation est très forte dans le cas des milieux à base de haricot et de poudre de luzerne pour chacun des deux sexes. La fécondité des femelles est, dans une moindre mesure, en corrélation avec la durée de développement larvaire (milieu à base de poudre de luzerne) et avec le poids nymphal (milieu à base de germe de blé) (tabl. 2).

Dans notre étude concernant la semoule de maïs du commerce, la relation entre le poids et la durée de développement larvaire confirme le résultat obtenu par BOTTGER (1951) qui élève les chenilles de la pyrale sur des grains de maïs sucré. Ceci peut être dû à une alimentation qui apporte semble-t-il des réserves importantes de substances favorables à une longue durée de vie. Le poids élevé des chrysalides est également en relation avec le poids larvaire. Cet effet serait dû non seulement à la qualité mais aussi à la quantité de la nourriture ingérée. Dans les études de prise de nourriture et d'utilisation des milieux artificiels chez *O. nubilalis*, LEWIS et RAUN (1966) montrent que les chenilles doivent consommer 100 mg ou 82 mg (en poids sec) de milieux à base respectivement de poudre de feuilles de maïs ou de germe de blé, afin d'atteindre le poids de 100 mg.

TABLEAU 2

Étude des corrélations (analyse de régression) *entre le poids* (mg) *des chenilles et des chrysalides, la durée* (jours) *du développement larvaire et de vie nymphale de deux sexes et la fécondité* d'Ostrinia nubilalis HBN. *élevé sur 5 milieux artificiels* (1)

Milieu	Sexe	x_1	x_2	y	$\hat{y}$	DL	F
A	♂	durée de vie larvaire	durée de vie larvaire	poids larvaire	$28{,}19 + 2{,}741\ x_1$	1/13	14,96**
	♂	poids larvaire		poids nymphal	$40{,}84 + 0{,}610\ x_1 - 1{,}508\ x_2$	2/12	6,02*
	♀	poids larvaire		poids nymphal	$16{,}58 + 0{,}578\ x_1$	1/18	22,70***
	♂ + ♀	durée de vie larvaire		poids larvaire	$42{,}79 + 2{,}080\ x_1$	1/33	11,79**
	♂ + ♀	poids larvaire		poids nymphal	$27{,}87 + 0{,}449\ x_1$	1/33	27,49***
B	♂ + ♀	poids larvaire		poids nymphal	$51{,}19 + 0{,}213\ x_1$	1/30	5,56*
C	♂	durée de vie larvaire	durée de vie larvaire	poids nymphal	$37{,}19 + 1{,}689\ x_1$	1/18	4,97***
	♂	poids larvaire		poids nymphal	$3{,}527 + 0{,}408\ x_1 + 1{,}735\ x_2$	2/17	11,78***
	♀	poids larvaire		poids nymphal	$42{,}45 + 0{,}339\ x_1$	1/20	12,37**
	♀	poids nymphal		nombre d'œufs	$-106{,}86 + 4{,}680\ x_1$	1/20	5,94*
	♂ + ♀	durée de vie larvaire		poids nymphal	$50{,}10 + 1{,}126\ x_1$	1/40	4,07*
	♂ + ♀	poids larvaire	durée de vie larvaire	poids nymphal	$15{,}29 + 0{,}422\ x_1 + 1{,}060\ x_2$	2/39	18,64***
D	♂	poids larvaire		poids nymphal	$22{,}41 + 0{,}479\ x_1$	1/18	11,05**
	♀	poids larvaire		poids nymphal	$40{,}04 + 0{,}292\ x_1$	1/20	8,16**
	♂ + ♀	durée de vie larvaire		poids larvaire	$56{,}49 + 1{,}098\ x_1$	1/40	4,02*
	♂ + ♀	poids larvaire		poids nymphal	$27{,}68 + 0{,}423\ x_1$	1/40	29,27***
E	♂	poids larvaire		poids nymphal	$14{,}95 + 0{,}616\ x_1$	1/11	14,30**
	♀	poids larvaire		poids nymphal	$12{,}07 + 0{,}663\ x_1$	1/20	25,44***
	♀	durée de vie larvaire		nombre d'œufs	$8{,}958 + 9{,}130\ x_1$	1/20	6,31*
	♂ + ♀	poids larvaire		poids nymphal	$13{,}31 + 0{,}645\ x_1$	1/33	44,97***

(1) Les régressions non-significatives ne sont pas portées dans ce tableau.

A : milieu base de semoule de maïs du commerce ;
B : — — semoule de maïs de grain entier (POITOUT et BUES, 1970) ;
C : — — germe de blé (LEWIS et LYNCH, 1969) ;
D : — — haricot (WEISMANN, communication personnelle) ;
E : — — poudre de luzerne (NAGY, 1970).

* Probabilité entre 5 p. 100 - 1 p. 100 ; ** Probabilité entre 1 p. 100 — 0,01 p. 100 ; *** Probabilité < 0,01 p. 100.

La fécondité des femelles est plutôt déterminée par la qualité de l'alimentaion des chenilles, ce qui se traduit aussi par un poids nymphal plus élevé. Ceci a été observé dans le cas de milieu à base de germe de blé. Le même type de rapport (poids : fécondité) a été remarqué par BAREIKO (1972) chez *L. pomonella* et par ZWÖLFER (1933) chez *L. monacha*. Par contre MALEKI-MILANI (1971) ne note aucun rapport entre le poids de chrysalides et le nombre d'œufs pondus chez *Memestra brassicae* L. élevé sur les milieux artificiels. Dans des expériences précédentes (GAHUKAR, 1975 *b*), nous avons vu que la fécondité diffère selon le type de milieu. Celui à base de semoule de maïs du commerce donne une fécondité réduite par rapport au milieu avec semoule de maïs de grain entier ; pourtant, les poids nymphaux ne sont pas significativement différents. Sur milieu « haricot », bien que le poids nymphal soit inférieur à celui noté dans le cas de semoule du commerce, la fécondité est plus élevée. Ce travail antérieur confirme aussi la prédominance de la qualité de l'alimentation larvaire sur la fécondité.

Il est à noter, dans le cas du milieu à base de germe de blé, que parmi les données mathématiques portant sur les différents stades de l'insecte, celle de la fécondité (y) en fonction du poids nymphal (x_1), [par exemple : $y = -106{,}86 + 4{,}68\ x_1$] a une importance dans la pratique car elle précise le devenir d'une population et détermine l'opportunité des interventions de divers moyens de lutte.

Reçu pour publication en août 1975.

REMERCIEMENTS

J'exprime mes sincères remerciements à Monsieur le Professeur LE BERRE, Université de Paris-Sud, Centre d'Orsay et à Monsieur MOREAU, Station de Zoologie, C. N. R. A., Versailles pour les conseils qu'ils m'ont prodigués au cours de ce travail et également à Monsieur ARNOUX, Station de Biométrie, C. N. R. A., Versailles pour les analyses statistiques.

SUMMARY

RELATIONS BETWEEN VARIOUS LARVAL AND PUPAL PARAMETERS AS PER SEX AND LARVAL DIET OF *OSTRINIA NUBILALIS* HÜBNER

Laboratory rearing of the European corn borer, *Ostrinia nubilalis* HÜBNER on 5 artificial diets permitted to explain the linear relations between various larval and pupal parameters (period of development, weight etc.). These relations are more or less significant depending upon the sex and larval diet. Moreover, these parameters have been compared with fecundity of females.

The relation between number of eggs laid by female (y) and pupal weight (x_1), (for example, $y = -106.86 + 4.68\ x_1$ in case of diet containing wheat germ), can be taken into consideration for the prediction of evolution of insect populations.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BOREIKO T. A., 1972. Correlation between the weight of pupae and the number of eggs in *Laspeyresia pomonella* (*lepidoptera, Tortricidae*). *Zool. Zh.*, **51**, 920-921.

BOTTGER G. T., 1951. Sugars and protein in the corn plant as related to nutrition of the European corn borer. *J. econ. Ent.*, **44**, 40-44.

Desfö K.V., 1971. Study of factors influencing the fecundity and fertility of codling moth. (*Laspeyresia pomonella* L. Lepid., *Tortr.*). *Acta phytopath. Acad. Sci. Hung.*, **6**, 243-252.

Gahukar R. T., 1975 *a*. Nouvelles techniques adoptées pour l'élevage d'*Ostrinia nubilalis* hübner, sur milieu artificiel. *Ann. Zool. Écol. anim.*, **7**, 491-498

Gahukar R. T., 1975 *b*. Biology of European corn borer, *Ostrinia nubilalis* hbn. reared on five artificial diets. (en préparation).

Lewis L. C., Lynch R. E., 1969. Rearing the European corn borer, *Ostrinia nubilalis* (hübner) on dits containing corn leaf and wheat germ. *Iowa State J. Sci.*, **44**, 9-14.

Lewis L. C., Raun E. S., 1966. Consumption and utilization of laboratory diets by European corn borers. *Iowa State J. Sci.*, **41**, 173-180.

Maleki-Milani H., 1971. Élevage de la noctuelle du chou, *Mamestra* (*Barathra*) *brassicae* L. sur milieu artificiel. *Ann. Soc. Ent. Fr.*, (N. S.), **7**, 39-56.

Mani E., 1968. Biologische Untersuchungen an *Pandemis heparana* (den. und schiff.) unter besonderer Berücksichtigung der Factoren, welche die Diapause induzieren und die Eiablage Beeinflussen. *Mitt. Schweiz. Ent. Gesell.*, **3-4**, 145-203.

Nagy B., 1970. Rearing of the European corn borer (*Ostrinia nubilalis* hbn.) on a simplified artificiel diet. *Acta phytopath. Acad. Sci. Hung.*, **5**, 73-79.

Poitout S., Bues R., 1970. Élevage de plusieurs espèces de lépidoptères *Noctuidae* sur milieu artificiel riche et sur milieu artificiel simplifié. *Ann. Zool. Écol. anim.*, **2**, 79-91.

Spates G. E., Hightower B. G., 1970. Variations in the size and reproductive capacity of wild type and laboratory adapted populations of the screw worm fly. *J. Econ. Ent.*, **63**, 1381-1385.

Schmidt C. D., Blume R. R., 1973. Laboratory-reared horn flies : relationships between width of head and weight of pupa in both sexes and between these measurements and number of ovarioles in females. *Ann. Ent. Soc. Amer.*, **66**, 1307-1308.

Solomon J. D., 1967. Carpenterworm oviposition. *J. econ. Ent.*, **60**, 309.

Zwölfer W., 1933. Studien zur Okologie, insbesondere zur Bevölkerungslehre de Nonne, *Lymantria monacha* L. *Z. ang. Ent.*, **20**, 1-50.

Sonderdruck aus Bd. 81 (1976), H. 1, S. 67–74
Zeitschrift für angewandte Entomologie
VERLAG PAUL PAREY · 2 HAMBURG 1 · SPITALERSTRASSE 12
Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks, der photomechanischen Wiedergabe und Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, vorbehalten. © 1976 Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin

Station Centrale de Zoologie, Centre National de Recherches Agronomiques, INRA, Versailles, France

Rearing and biology of Ostrinia nubilalis Hbn. on five artificial diets

By R. T. Gahukar

Abstract

The European corn borer, *Ostrinia nubilalis* Hübner was reared on five artificial diets during three successive generations. Data on duration of larval and pupal development, pupal weight, and fecundity of females showed that there existed a little interaction between diets, generations and sex; but diets had greater influence. There proved significant differences in speed of development and reproduction. Wheat germ diet did well and other diets in order of performence were: maize meal of whole grain, lucerne meal, maize meal from market and beans though pupal mortality and viability of eggs were not affected in case of last diet. Considering the cost, simplicity of use and availability of material; a diet containing maize meal of whole grain is recommended in borer rearing.

1 Introduction

Artificial diets are used for rearing several phytophagous insects in laboratory for the studies on nutrition, biochemistry, physiology, behaviour, genetics etc. In addition, maintenance of colonies and their mass production for various purposes are easily achieved (Smith 1966; Vanderzant 1974). The aseptic conditions made possible to determine the nutritional requirements of insects without interference of micro-organisms. The knowledge of nutritional studies can be helpful in control strategies (Pratt et al. 1972).

The European corn borer, *Ostrinia nubilalis*, is a polyphagous insect of economic importance in all maize growing areas in the world. For several years, its biology was studied in relation to the principal host plant, *Zea mays* L. Likewise, efforts have been made to rear the borer on natural food (Beck and Lilly 1949; Surany 1957; Isa and Khadr 1973), but such plant material brings difficulties, such as, non-availability, frequent manipulation, biochemical degradation, microbial infection, and expenditure in term of space and labour. Rearing on artificial diets surpasses these drawbacks and gives equally good performance.

Bottger (1942) was the first to obtain a complete development of borers on artificial diets. Later since 1949, Beck and his coworkers studied basic nutritional requirements (qualitative and quantitative) of this insect and could demonstrate the specificity of maize as host plant. Thus, the chemically defined diets with some modifications and those prepared by combining un-

Z. ang. Ent. 81 (1976), 67–74
© 1976 Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin
ISSN 0044-2240 / ASTM-Coden: ZANEAE

refined plant material (either unidentified growth factor or chemical feeding stimulant) with known nutrient supplement, have existed for several years and reviewed recently by GAHUKAR (1976a).

The present work was undertaken firstly, to compare systematically some of the artificial diets in borer rearing from the point of view of economy, simplicity of preparation and performance; secondly, to observe the interaction between generations, diets and sex. It seemed us important to observe the nutritional effect on borer's biology in order to study resistance of maize to this insect with the help of these diets.

2 Materials and methods

2.1 Composition of diets

A comparative statement of ingredients of diets experimented is presented in table 1. Diets based on beans (WEISMANN pers. comm.), maize meal of whole grain (POITOUT and BUES 1970), and commercial maize meal, have been tested for the first time in borer rearing; while those containing wheat germ (LEWIS and LYNCH 1969), and lucerne meal (NAGY

Table 1. Composition of five artificial diets used in rearing of *Ostrinia nubilalis*

ingredients (g)	diets A, B	C	D	E
water (ml)	170	3000	600	1000
crude plant material	28 (maize meal)	—	100 (beans)	100 (lucerne meal)
agar	5	70	10	20
wheat germ	7	130	—	150
case in (vitamin free)	—	110	—	—
sugar	—	100 (dextrose)	—	40 (saccharose)
Brewer's yeast	7.50	—	10	40
ascorbic acid	1.00	30	2	4 d
cholesterol	—	8	—	—
salt no. 2	—	36	—	—
vitamin diet fortification mixture (VDFM)	—	23	3	—
sorbic acid	—	1.5 a	1.29 b	—
Nipagin (Methyl parahydroxy-benzoate)	0.20	—	0.92 b	4 c
benzoic acid	0.25		—	—

A = commercial maize meal, B = maize meal of whole grain, after POITOUT and BUES (1970), C = after LEWIS and LYNCH (1969), D = after WEISMANN, personal communication, E = after NAGY (1970), a = dissolved in 7.5 ml of 95 % ethanol, b = both dissolved in 11 ml of 96 % ethanol, c = dissolved in 20 ml of 96 % ethanol, d = mixed with 5 ml of glacial acetic acid previously mixed with 50 ml of water.

1970) are already in use in USA and Hungary respectively. Little modification was made in bean diet, i.e., Vitamin Diet Fortification Mixture replaced Pangamin of original composition.

Method of cooking was the same as described for each diet except the wheat germ diet for which an improved procedure (REED et al. 1972) was followed. The PH values of fresh diets were between 4 and 6.

Table 2. Mortality, development period of larvae and pupae and pupal weight of *Ostrinia nubilalis* reared on 5 artificial diets

diets	larvae			pupae				
	mortality %	development period days ♂	development period days ♀	mortality %	development period days ♂	development period days ♀	weight mg ♂	weight mg ♀
maize meal (market)	10.0	17.2a	17.7a	5.4	6.4a	6.3a	50.2a	58.0a
maize meal (whole grain)	8.0	17.2a	17.3a	8.8	6.8c	6.5a	54.5a	59.8a
wheat germ	9.5	17.1a	17.3a	2.0	7.0d	7.4c	56.6a	62.4a
beans	18.0	21.0c	20.9c	5.4	7.2e	7.0b	44.5b	49.2b
lucerne meal	10.4	19.1b	19.5b	4.8	6.7b	7.8c	54.8a	61.1a

Means followed by same letter are not significantly different from each other when the least significant difference test (probability level at 5 %) is applied.

Table 3. Duration (days) of larval instars of *Ostrinia nubilalis* reared on 5 artificial diets

diets	instars I	II	III	IV	V
maize meal (market)	3.49	3.16	3.26	2.65	5.52
maize meal (whole grain)	3.00	2.54	2.74	2.72	6.48
wheat germ	3.68	2.62	2.83	2.81	5.55
beans	4.12	3.78	3.09	2.62	6.58
lucerne meal	3.34	2.64	3.68	3.12	6.74

Table 4. Adult emergence, longevity, wing expanse, sex-ratio and fecundity of *Ostrinia nubilalis* reared on 5 artificial diets

diets	normal emergence %	longevity days ♂	longevity days ♀	wing expanse mm ♂	wing expanse mm ♀	sex ratio (no. of females per 100 males)	no. of eggs/ female
maize meal (market)	87.7	9.1	10.8	21.2	22.4	117	110.5a
maize meal (whole grain)	89.2	8.5	10.7	21.5	22.6	106	167.5c
wheat germ	93.6	9.0	12.1	21.6	23.5	116	192.5d
beans	89.1	6.9	8.6	20.5	21.9	92	136.6b
lucerne meal	92.9	8.0	9.8	21.2	23.7	101	166.4c

Means followed by same letter are not significantly different from each other when least significant difference test (probability level at 5 %) is applied.

2.2 Method of rearing

The borers were from the stock culture maintained in laboratory on maize meal diet (Poitout and Bues 1970) with the techniques described earlier (Gahukar 1975).

In the present investigation, we adopted a different method of rearing the borers from that of vials (Guthrie et al. 1965; Isa and Khadr 1973), for the reasons that the diet could be renewed every 2 days and daily observations on mortality and moulting were facilitated. Newly hatched larvae were put individually on each diet in cyndrical plastic dishes (2 × 5 cm). Appropriate covering of dishes (depending upon the diet and larval growth stage) avoids drying of diet as well as excess of moisture. Each pupa was kept on a piece of wet filter paper in same dish after removing the diet. Thus, isolation of each larva and its pupa eliminates the sex differenciation in these stages. Visual examination of emerged adults provided a rapid and easy method of sex determination. Single pairs of moths emerged on each day were mated in wire cages (11 × 8 cm) which are analogues to those used by Raun et al. (1967). The top of cage provided with crystal paper (served as egg laying site) was covered with moist filter paper and cages were transferred in plastic trays provided with wet sand. Adults were nourished with 5 % honey solution soaked in cotton wool. Moreover, daily sprinkling of water on cages assurred drinking for adults, and kept the filter paper moist. Egg masses were collected daily and were disinfected (Gahukar 1975).

Each diet had 4 replications with 50 larvae in each replication and observations were recorded on larval and pupal mortality, emergence of moths and sex-ratio. Duration of development of larvae and pupal weight were recorded for 50 individuals. Thirty pairs were observed for their longevity and fecundity of females and wing expanse was measured for 20 pairs. Pupae were weighed 24 hr after their formation on balance Mettler. Egg hatching was determined by examining 20 randomly selected egg masses laid each day under binocular dissecting microscope. Observation were made over 3 successive generations and means were used in comparison.

Rearing (except adults) was conducted at 28° C, 70–80 % RH and (16:8) hr photoperiod, while the adults were kept at 24 ± 1° C, 60–70 % RH and same photoperiod.

2.3 Statistical analysis

Data on larval and pupal development period, pupal weight and fecundity were compared within generations and between diets by non orthogonal analysis of variance at 5 % probability level.

3 Results

3.1 Larval mortality and development period

Mortality was observed throughout the larval development though it was high during early stages. There was no difference among diets but the one containing beans gave highest mortality (18 %); further, this diet prolonged significantly the development of borer (table 2). Diets with maize meals and wheat germ favoured larvae to complete their development in least average period of 17 days. There existed a little interaction between diets and generations when only males were considered. Regarding the stadia, bean diet prolonged little the development of earlier stages (table 3).

3.2 Pupal mortality, weight and development period

Wheat germ diet gave highest survival throughout rearing (table 2). Slower development of male pupae from bean diet (7 days) and those of female

from lucerne meal diet (7.8 days) was noted. Type of larval food had great influence; however, male pupae showed little interaction between diets and generations. Female pupae were found always heavier than those of males. Pupae of both sexes were significantly lighter when a diet containing beans was fed to borer larvae. When female pupae alone or with those of male were considered, both generations and diets had an equal influence on pupal weight; while generations showed prominent effect in interaction in case of male pupae alone.

3.3 Adult emergence, longevity, size, sex-ratio and fecundity

The comparative results presented in table 4 show that all diets gave more than 88 % normal emergence of moths. Adults with deformed wings were considered as abnormal ones and males were observed in majority. Females lived longer than males by 2–3 days. Reduced longevity and smaller size of both sexes were remarked in case of bean diet. Similarly, this diet resulted in more males. The number of eggs laid by females was largely influenced by kind of larval diet; least being from diet containing maize meal from market (110 eggs) and maximum from wheat germ diet (192 eggs). Females laid eggs till the end of life and egg laying capacity was in no way affected by longevity as well as the number of viable eggs was not in relation with fecundity.

3.4 Viability and incubation period of eggs

The viability of eggs was little influenced by larval food. More sterile eggs (25 %) and lower hatching (59 %) for diet based on maize meal (market) and reverse results with wheat germ diet were observed (table 5). Larval diet did

Table 5. Viability and incubation period of eggs of *Ostrinia nubilalis* reared on 5 artificial diets

diets	sterility %	hatching %	incubation period days
maize meal (market)	24.7	58.8	3.1
maize meal (whole grain)	14.2	77.8	3.1
wheat germ	9.4	83.4	3.0
beans	13.0	77.1	4.0
lucerne meal	14.9	74.5	3.1

Table 6. Average duration (days) of life cycle of *Ostrinia nubilalis* reared on 5 artificial diets

generations	diets				
	maize meal (market)	maize meal (whole grain)	wheat germ	beans	lucerne meal
1	36.3	38.9	38.7	38.5	38.9
2	38.5	35.9	37.8	40.6	37.8
3	35.8	35.7	37.5	40.1	39.1
mean	36.9	36.8	38.0	39.7	38.6

not affect incubation, though this period was little prolonged in case of bean diet.

3.5 Life cycle duration

Whole life cycle of corn borer occupied on average 36 to 41 days (depending upon the diet and generation) (table 6).

4 Discussion

During the rearing of corn borer, bean diet showed poor larval survival (77 %) in first generation, but it was increased in successive generations; probably, the larvae got adapted to the food. Lewis and Lynch (1969) noted survival in the same order on wheat germ diet. Often renewal of diets might be the reason for reduced mortality in present rearing. This might have also helped the borers to consume the food more efficiently and thus to develop fast. Bean diet fed larvae took more time for development and thus proved to be comparatively unsatisfactory for their growth. High pupal mortality (17 %) observed during first generation on maize meal (whole grain) was due to variation in humidity in dishes. Otherwise, all diets showed satisfactory survival. Pupae of both sexes took nearly the same time for development. This can also be observed under natural conditions and may be to facilitate the finding of mate. Bean diet demonstrated a differential dietary effect on development of female pupae; however, there is no correlation between larval and pupal development period. Further, this diet affected the weight more than development of pupae. Pupae from diet with maize meal (market) were lighter than from other diets. This shows a clear effect of quality of food provided to larvae. While in case of bean diet, this effect may be attributed to both quality and quantity of diet consumed. Thus the consumption and utilization of these diets by borers may give exact explanation. Effect of bean diet was further carried to adults resulting in small moth size, less longevity, more males and less egg laying by females.

It is important to note that though pupae from diet with maize meal (market) weighed more than from bean diet, fecundity was less; i. e., there is no linear correlation between these 2 parameters. Percentage of sterility and hatching was equally affected. This fact explains that borer rearing on maize meal (market) may not be suitable, since fecundity may be reduced further during successive generations. In fact, in commercial preparations, the germ is often removed or destroyed, and this might be one of the reasons for reduced fecundity. Though bean diet gave more larval mortality and slower development, the survivors grew normal and laid fertile eggs. The probable explanation of this dietary effect is that this diet contains less beans in comparison to similar bean diet (Salama 1970); beans are the sources of proteins and sugars for borers. These requirements are of utmost importance in borer's nutrition (Bottger 1951; Beck 1956). More water diminishes the quantity of ingredients in finished preparation and thus makes it nutritionally inadequate. Little effect might be due to conservation of beans. These problems have been discussed briefly by Vanderzant (1974).

In case of life cycle duration, it was directly related to the differences in

the length of larval development, notably on bean diet. The reduction in life duration from first to third generation for diets containing maize meal of whole grain and wheat germ was observed. For the first diet, adaptation by borers can be the reason, since the stock culture was maintained on this diet; the fulfilment of chemical requirements may be the factor in case of latter.

Differences in duration of various life stages, pupal weight, and fecundity mentioned by other workers (Lewis and Lynch 1969; Nagy 1970; Salama 1970; Isa and Khadr 1973; Gahukar 1975) are the results of different conditions and methods of rearing, biological race present in the country, egg sources etc.

There is no much difference in physical characters of these diets. Similarly, when feeding behaviour of newly hatched larvae was studied, no difference in larval distribution was noted (Gahukar, unpublished data). Therefore, only the chemical requirements affected the performence of diets which can be arranged in descending order as: wheat germ, maize meal of whole grain, lucerne meal, maize meal from market and beans; though the pupal mortality and viability of eggs were not affected in case of last diet. The preparation of wheat germ diet is comparatively too costly. The present study therefore, suggests the use of maize meal of whole grain in borer rearing due to its satisfactory performance, less cost and easy preparation. Moreover, this diet proved to be quite satisfactory in mass rearing (Gahukar 1975). Other diets may prove equally good if they are made nutritionally adequate and can be recommended depending upon availability of materials.

There existed a little interaction between diets, generations and sex, but diets had greater influence on borer's life stages. From these observations, it seemed us important to study simultaneously the correlation between development period and weight of both the larvae and pupae of borers and effect of these parameters on fecundity of females in the function of these five diets (Gahukar 1976b). Further, we planned to investigate whether this nutritional adequacy can affect the biology of different ecotypes of borers in relation to resistant and susceptible maize lines.

Acknowledgements

I wish to express my appreciation to Professor J. R. Le Berre, Université de Paris, Centre d'Orsay, and to Dr. J. P. Moreau, Station centrale de Zoologie (CNRA-INRA), Versailles, for their interest and helpful discussions during the course of work. Thanks are due to Dr. L. Weismann, Institute of Experimental Phytopathology and Entomology, Ivanka Pri Dunaji (Czechoslovakia) for suggesting the bean diet of his own composition.

Zusammenfassung

Aufzucht und Biologie des Maiszünslers, Ostrinia nubilalis Hbn., an 5 künstlichen Diäten

Der Maiszünsler, *Ostrinia nubilalis,* wurde auf fünf künstlichen Nährböden während drei aufeinander folgenden Generationen aufgezogen. Die gewonnenen Daten über die Entwicklungsdauer der Larven und Puppen sowie über das Puppengewicht und die Fruchtbarkeit zeigen, daß in geringem Maße eine Wechselwirkung zwischen den Nährböden, Generationen und Geschlechtern besteht. Signifikante Unterschiede in der Entwicklungs- und Fortpflanzungsgeschwindigkeit bei verschiedenen Diäten wurden festgestellt. Der Mais-Sproß-Nährboden erwies sich als der günstigste; es folgen in der Reihen ihrer Eignung: Vollkornmaisgrieß, Luzernepulver, Handelsmaisgrieß und Bohne. In Anbetracht der relativ geringen

Kosten, der leichten Anwendbarkeit und der Verfügbarkeit der Bestandteile ist der Vollkornmaisgrieß für die Aufzucht des Maiszünslers zu empfehlen.

References

Beck, S. D., 1956: The European corn borer, *Pyrausta nubilalis* (Hbn.), and its principal host plant. II. The influence of nutritional factors on larval establishment and development on the corn plant. Ann. Ent. Soc. Amer. *49*, 582–587.

— Lilly, J. H., 1949: Report on European corn borer resistance investigation. Iowa State J. Sci. *23*, 249–259.

Bottger, G. T., 1942: Development of synthetic food media for use in nutritional studies of the European corn borer. J. Agri. Res. *65*, 493–500.

— 1951. Sugars and proteins in corn plant related to nutrition of the European corn borer. J. Econ. Ent. *44*, 40–44.

Gahukar, R. T., 1975: Nouvelles techniques adoptées pour l'élevage d'*Ostrinia nubilalis* Hübner sur milieu artificiel. Ann. Zool. Ecol. anim. *7*, 491–498.

— 1976a: Nutrition de la pyrale du maïs, *Ostrinia nubilalis* Hbn. (Lepidoptera: Pyraustidae). Ann. Zool. Ecol. anim. *8*, 119–128.

— 1976b: Relations entre divers paramètres larvieres et nymphaux selon le sexe et le milieu d'alimentation chez *Ostrinia nubilalis* Hübner. Ann. Zool. Ecol. anim. *8*, 33–38.

Guthrie, W. D.; Raun, E. S.; Dicke, F. F.; Pesho, G. R.; Carter, S. W., 1965: Laboratory production of European corn borer egg masses. Iowa State J. Sci. *40*, 65–83.

Isa, A. L.; Khadr, G. D., 1973: Rearing of *Ostrinia nubilalis* Hbn. on artificial diets. Agri. Res. Rev. *51*, 15–19.

Lewis, L. C.; Lynch, R. E., 1969: Rearing of the European corn borer, *Ostrinia nubilalis* (Hbn.), on diets containing corn leaf and wheat germ. Iowa State J. Sci. *44*, 9–14.

Nagy, B., 1970: Rearing of the European corn borer (*Ostrinia nubilalis* Hbn.) on a simplified artificial diet. Acta. Phytopath. Acad. Sci. Hung. *5*, 73–79.

Poitout, S.; Bues, R., 1970: Elevage de plusieurs espèces de lepidoptères Noctuidae sur milieu artificiel riche et sur milieu artificiel simplifié. Ann. Zool. Ecol; anim. *2*, 79–91.

Pratt, J. J.; House, H. L.; Mansingh, A., 1972: Insect control strategies based on nutritional principles: a prospectus. In: Rodriguez, I. C. (Ed.), Insect and mite nutrition, pp. 651–668. Amsterdam/London: North Holland Publ. Co.

Raun, E. S.; Lewis, L. C.; Picken, J. C.; Hotchkiss, D. K., 1967: Gamma irradiation of European corn borer larvae. J. Econ. Ent. *60*, 1724–1730.

Reed, G. L.; Showers, W. B.; Huggans, J. L.; Carter, S. W., 1972: Improved procedures for mass rearing the European corn borer. J. Econ. Ent. *65*, 1472–1476.

Salama, H. S., 1970: Rearing the corn borer, *Ostrinia nubilalis* (Hbn.), on semi-artificial diet. Z. ang. Ent. *65*, 216–218.

Smith, C. N., 1966: Insect colonization and mass production. New York: Academic Press.

Surany, P., 1957: Continuous mass rearing of the European corn borer in laboratory. Illinois Nat. Hist. Surv. Biol. Notes. No. 37.

Vanderzant, E. S., 1974: Development, signification and application of artificial diets for insects. Ann. Rev. Entomol. *18*, 139–160.

PHYSIOLOGIE DES INSECTES. — *Effet de l'élevage continu sur milieu artificiel sur la physiologie d'un lépidoptère,* Ostrinia nubilalis *Hübner.* Note (*) de MM. **Ruparao T. Gahukar** et **Jean-Pierre Moreau,** présentée par M. Constantin Vago.

L'élevage sur milieu artificiel pendant 20 générations successives a eu des conséquences importantes sur la physiologie d'une souche du Lépidoptère, *Ostrinia nubilalis* Hbn. qui s'est montrée moins virulente qu'une souche provenant de la nature. Si les raisons de cet affaiblissement peuvent aussi bien être d'origine génétique que pathologique, il en ressort qu'une telle souche ne peut être utilisée sans risque dans des tests de résistance de lignées de Maïs.

Les insectes phytophages comme la pyrale du Maïs (*Ostrinia nubilalis* Hbn.) élevés à l'aide de milieux artificiels permettent d'obtenir des populations homogènes utilisables pour les expérimentations soit au laboratoire soit aux champs en vue des infestations artificielles. Or, l'élevage permanent peut avoir des conséquences sur la physiologie de l'insecte et diminuer la production des œufs et leur viabilité. Ces effets se répercutent sur d'autres paramètres biologiques, tels le développement, le poids ou l'accouplement. Ils s'amplifient éventuellement au cours des générations. Ces répercussions peuvent jouer un rôle important dans la virulence des larves qui voient leur suivie amoindrie même sur une lignée susceptible à la pyrale [(1) à (5)]. De même, l'alimentation des larves sur des variétés résistantes de Maïs a des conséquences défavorables sur la physiologie de cet insecte [(6), (7)].

Cependant une souche élevée sur un milieu artificiel ayant conduit à de bons résultats (8), nous avons été amenés, à la suite des travaux décrits ci-dessus, à éprouver cette souche pour des infestations artificielles, en comparaison avec des insectes provenant de la nature. Parallèlement, nous avons comparé la sensibilité de deux lignées de Maïs installées dans les conditions locales.

Techniques. — Deux souches de pyrale sont utilisées pour infester les pieds de Maïs : 1° œufs provenant d'un élevage permanent sur milieu artificiel à base de semoule de Maïs (20 générations) (8). 2° A partir d'œufs récoltés dans la nature à Orsonville (Yvelines) en juillet-août 1974. Deux lignées de Maïs : WF_9 et CI 31A, connues respectivement comme sensible et résistante sont éprouvées.

Les infestations sont réalisées 6 semaines environ après le semis, le Maïs se trouvant alors au stade 7-8 feuilles. On attache sur les feuilles du cornet de chaque plante, quatre pontes au stade « tête noire », en deux fois, à 1 semaine d'intervalle.

Les contrôles sont effectués 2 mois après la seconde infestation et consistent à dénombrer les larves, galeries et panicules cassés.

Résultats. — Il n'y a pas eu d'infestation naturelle, ainsi qu'en témoigne l'absence de dégâts dans le reste des parcelles et dans les maïs voisins.

Les résultats consignés dans le tableau montrent que sur la lignée CI 31A réputée résistante, le taux de survie de la souche en provenance de la nature est plus faible que sur WF_9, de même que le nombre de galeries à tous les niveaux de la plante (sous l'épi, dans

l'épi et au-dessus de l'épi) et de panicules cassés. Avec la souche provenant de l'élevage continu, le nombre des larves vivantes est identique chez WF_9 et CI 31A. Lorsqu'on considère le nombre de galeries en dessous de l'épi (risque de casse) ainsi que les larves qui s'y trouvent, WF_9 est peu atteint, moins même que CI 31A. Ceci montre que l'équilibre hôte-parasite est modifié et qu'en particulier la souche provenant de l'élevage continu a perdu sa « virulence » au cours de la succession des générations.

TABLEAU

Comparaison de 2 souches de pyrale utilisées pour l'infestation artificielle de 2 lignées de Maïs
(nombres 100 plantes)

Souche		Souche provenant de la nature		Souche provenant d'élevage continu	
Lignées		WF_9	CI 31A	WF_9	CI 31A
Sous l'épi	Galeries	170	116	9	25
	Larves vivantes	80	25	0	6
	Larves mortes	0	8	0	0
Dans l'épi	Galeries	220	66	64	19
	Larves vivantes	70	0	9	6
Au-dessus de l'épi	Galeries	170	75	73	19
	Larves vivantes	40	16	18	15
Total	Larves vivantes	190	41	27	27
Panicules cassés	–	70	42	18	19

DISCUSSION ET CONCLUSION. — Avec des pyrales élevées pendant 3 générations sur milieu méridique, Rathore et Guthrie ont observé un taux plus élevé de dégâts sur le feuillage de la lignée WF_9 qu'avec celles utilisées après 87 générations ([5]). De même, une souche élevée pendant 14 générations ([4]) ou 34 générations ([1]) a perdu ensuite sa virulence. Beck et Smissman aussi observent que la croissance et la reproduction ont été diminuées pendant 7 générations et c'est pour cette raison qu'ils ont utilisé des insectes élevés pendant 2 générations au plus au laboratoire dans les études de résistance de Maïs à la pyrale ([9]). La perte de virulence peut être récupérée par le croisement avec les parents (Back crossing) de la souche naturelle d'*O. nubilalis*, car ce caractère est contrôlé génétiquement ([3]). Comme l'indique Kamano chez *Chilo suppressnlis* Walker ([10]), la virulence serait perdue dans l'élevage de masse peut-être simplement à cause d'une compétition intraspécifique (inbreeding) et non à cause d'une insuffisance nutritionnelle du milieu. Une seconde hypothèse consiste à expliquer cette diminution de virulence par une infection au protozoaire, *Perezia pyraustae* Paillot observée précisément dans nos élevages et chez les souches d'autres laboratoires ([11]); elle diminue la fécondité des femelles et la survie larvaire et augmente la durée des stades.

Pourtant Nagy montre que les pyrales élevées sur milieu à base de poudre de Luzerne pendant 34 générations conduisent à de bons résultats ([12]). Ces différences sont proba-

blement dues non seulement aux nombres de générations successives des élevages mais aussi à la diversité des souches de départ, liée en particulier aux origines géographiques. En effet, l'adaptation de la pyrale du Maïs est sans doute directement liée aux conditions écologiques locales.

En ce qui concerne les effets d'une alimentation des chenilles sur les tissus résistants (lignée CI 31A), nos résultats vont dans le même sens que ce qu'observait Reed et coll. (6) en laboratoire.

Nos résultats montrent qu'une souche de pyrale du Maïs maintenue sur milieu méridique peut perdre sa virulence au cours d'une vingtaine de générations et donne une survie et des dégâts réduits même sur une lignée de Maïs susceptible comme WF_9. Cette souche ne peut donc être utilisée en infestation artificielle en vue de sélection. En même temps, ils révèlent que la lignée CI 31A a une résistance effective à la pyrale et peut donc servir de géniteur pour la sélection de Maïs.

(*) Séance du 24 novembre 1975.

(1) J. L. Huggans et W. D. Guthrie, *Iowa State J. Sc.*, 44, 1970, p. 313-352.

(2) W. D. Guthrie, W. A. Russell et C. W. Jennings, *Ann. Corn Sorghum Res. Conf. Proc.*, 26, 1971, p. 165-179.

(3) W. D. Guthrie et S. W. Carter, *Ann. Ent. Soc. Amer.*, 65, 1972, p. 108-109.

(4) Y. S. Rathore, *Diss. Abstr. Int. Sec.*, B. 33, 1973, p. 3694.

(5) Y. S. Rathore et W. D. Guthrie, *J. Econ. Ent.*, 66, 1973, p. 1195-1196.

(6) G. L. Reed, T. A. Brindley et W. B. Showers, *Ann. Ent. Soc. Amer.*, 65, 1972, p. 658-662.

(7) R. T. Gahukar, *Ann. Ecol. Zool. Anim.*, 7, 1975, p. 425-438.

(8) R. T. Gahukar, *Ann. Ecol. Zool. Anim.*, 7, 1975, p. 491-498.

(9) S. D. Beck et E. E. Smissman, *Ann. Ent. Soc. Amer.*, 53, 1960, p. 755-762.

(10) S. Kamano, *Bull. Natl. Inst. Agric. Sc.*, Ser. C., 27, 1973, p. 1-51.

(11) G. Guennelon, 1975, Communication personnelle.

(12) B. Nagy, *Rept. Intern. Project on Ostrinia Mubilalis*, Phase I, 1973, p. 138-147.

Centre National de Recherches Agronomiques,
(INRA), Station de Zoologie,
route de Saint-Cyr,
78000 *Versailles.*